

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

RAKENNUS- JA MAANMITTAUSTEKNIIKAN OSASTO

TAPIO J. KOIVU

ONTELOLAATTOJEN LUOTETTAVUUSTARKASTELU
LAADUNVALVONTA-AINEISTON PERUSTEELLA

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 6. 10. 1989

Työn valvoja prof. Pekka Kanerva

Työn ohjaaja DI Osmo Koskisto

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
RAKENNE- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN
LAITOSTEN KIRJASTO

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä ja työn nimi: Tapio Juhani Koivu

Ontelolaattojen luotettavuustarkastelu laadunvalvonta-aineiston perusteella

Päivämäärä: 6. 10. 1989

Sivumäärä: 61 s. + 49 s. liitt.

Osasto:
Rakennus- ja maanmittaustekniikan osastoProfessuuri:
Talonrakennustekniikka

Työn valvoja: prof. Pekka Kanerva

Työn ohjaaja: DI Osmo Koskisto

Tämän työn tavoitteena oli soveltaa tilastomatemattisia rakenteiden luotettavuuden arvioimismenetelmiä ontelolaattojen suunnittelussa käytettävän osavarmuusluvun määrittämiseksi.

Tutkimus koostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä vaiheessa on määritetty ontelolaattatuotannon laadunvalvonta-aineiston perusteella laattojen kestävyysvaikuttavien parametrien tilastolliset ominaisuudet. Aineisto on kerätty kahdeksan eri tehtaan laadunvalvonnan mittaustuloksista. Tilastollisista ominaisuuksista on selvitetty keskiarvot, hajonnat ja jakaumayhteensopivuudet käyttäen tilastollisia testejä.

Toisessa osassa on tutkittu ontelolaattojen luotettavuutta laadunvalvonnasta saatujen tulosten sekä kuormille kirjallisuuden perusteella valittujen arvojen perusteella. Luotettavuuden arvioimiseksi on ontelolaattojen neljästä murtorajatilasta muodostettu rakenneyhtälöt ja niiden avulla Monte Carlo -simulointimenetelmällä laskettu 28 kuormitusoletuksiltaan ja murtotavoiltaan erilaisissa tapauksissa vaurioitumistodennäköisyydet. Näiden tapausten perusteella on arvioitu nykyisen normin mukaista luotettavuustasoa ja verrattu sitä Pohjoismaisen normikomitean suositamaan tasoon.

Vertailun perusteella on päästy pienentämään betonin materiaalin osavarmuuslukua. Laatat on mitoitettu uuden osavarmuusluvun mukaan pienentämällä kapasiteetin arvoja. Tällöin päästiin osavarmuusluvun arvoa laskemaan 1,35:stä arvoon 1,30 ilman, että normikomitean vaatimustasoa alitettiin. Laatat on mitoitettu uudelleen myös kuorman arvoja nostamalla muutamissa tapauksissa. Tällöin osavarmuusluvun arvoa voitiin laskea 1,25:een.

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ABSTRACT OF THE
MASTER'S THESIS**Author and title of the thesis:** Tapio Juhani Koivu

Reliability Analysis of Hollow Core Slabs Using Quality Control Data

Date: 6. 10. 1989**Number of pages:** 61 p. + 49 p. app.**Department**
Faculty of Civil Engineering and Surveying**Professorship:**
Building Technology**Supervisor:** Prof. Pekka Kanerva**Instructor:** M.Sc. Osmo Koskisto

The aim of this study was to apply methods of statistical reliability analysis to calibrate a partial safety factor for the design of hollow core slabs.

The study consists of two parts. In the first phase, the statistical properties of the variables of resistance of hollow core slabs are determined from data obtained from quality control. The data has been collected from the results of measurements done in eight different plants in Finland. The statistical properties are determined by calculating means, deviations and tests of distribution fit.

In the second phase the reliability of hollow core slabs has been studied by using the results of statistical study done to the data acquired from quality control and values of loads given in literature. To determine the level of safety limit state equations for four different limit state were formed and Monte Carlo -simulation method applied in 28 different calibration point. The results of these cases were compared to the safety level recommended by the Nordic Building Code Committee.

The comparison resulted in a lower value of the partial safety factor of concrete material. In the dimensioning of the slabs with lower strength of compressive strength of concrete value 1,30 was used for partial safety factor instead of the old value 1,35. The slabs were dimensioned also in few calibration points with higher value of loads using value 1,25 for the partial safety factor. In both cases the required level of safety was obtained.

ALKULAUSE

Tämä diplomityö on tehty Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa betoni- ja silikaattitekniikan laboratoriossa DI Osmo Koskiston ohjaamana. Työn ovat rahoittaneet Oy Lohja Ab, Oy Parma Ab ja Oy Partek Ab.

Esitän työn valvojalle, prof. Pekka Kanervalle, työn ohjaajalle, DI Osmo Koskistolle parhaimmat kiitokset työn kannustavasta ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää tekn. lis. Matti Pajaria lukemattomista arvokkaista neuvoista ontelolaattojen mitoituksen osalta sekä tekn. tri. Jukka Jokelaa rakenteiden luotettavuuden alalta saamistani ohjeista. Lämpimät kiitokset esitän myös Oy Lohja Ab:lle, jota on työhön liittyvissä asioissa edustanut DI Kosti Nolvi (Semera Oy), Oy Parma Ab:lle, jota on edustaneet joht. Mauri Lappalainen, ins. Pertti Kujala sekä ins. Aarne Aaltonen, ja Oy Partek Ab:lle, jota on edustanut ins. Osmo Pousi, työlleni välttämätömän aineiston luovuttamisesta käyttööni sekä taloudellisen tuen järjestämisestä, jonka avulla olen voinut paneutua työhöni.

Lisäksi esitän kiitokseni betoni- ja silikaattitekniikan laboratoriolle toimitilan ja tutkimukseen tarvittavien tietojenkäsittelypalvelujen järjestämisestä.

Otaniemessä 6. 10. 1989


Tapio Koivu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	i
ABSTRACT.....	ii
ALKULAUSE.....	iii
SISÄLLYSLUETTELO.....	iv-v
MERKINNÄT.....	vi-viii
1. JOHDANTO.....	1
2. ONGELMAN KUVAUS.....	1
2.1 Rakenteiden luotettavuuden arvioimiskeinot	1
2.2 Osavarmuusluvun kalibrointi.....	3
2.3 Kalibrointiprosessin kuvaus	4
3. OSAVARMUUSLUKUMENETELMÄ.....	10
3.1 Määritelmä.....	10
3.2 Ominaiskuormat.....	11
3.3 Kestävyysparametrien ominaisarvot.....	12
3.4 Osavarmuuslukujen huomioimat epävarmuustekijät.....	12
4. LUOTETTAVUUSTEORIA	14
4.1 Vaurioitumistodennäköisyys	14
4.2 Monte Carlo -simulointimenetelmä.....	16
4.2.1 Menetelmän periaate	16
4.2.2 Simulointi parannetulla Monte Carlo -menetelmällä	17
5. ONTELOLAATTOJEN MITOITUS.....	20
5.1 Perusteista ja mitoituskäytännöstä.....	20
5.2 Taivutusvetomurto	21
5.3 Halkeamismurto taivutuksessa.....	23
5.4 Ankkurointimurto ja leikkauspuristusmurto	24
5.5 Leikkausvetomurto	26
5.6 Kalibrointipisteiden mitoitus	26

6. LAADUNVALVONNAN MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI.....	26
6.1 Tyyppihyväksynnän edellyttämä laadunvalvonta.....	26
6.2 Käytetyt laadunvalvonnan mittaustulokset.....	27
6.3 Jakaumatyyppien ja tunnuslukujen määrittäminen	28
6.4 Korrelaatioiden määrittäminen.....	35
7. RAKENNEYHTÄLÖT	38
7.1 Muuttujat.....	38
7.1.1 Kestävyysparametrit	38
7.1.2 Kuormitusparametrit.....	40
7.2 Rakenneyhtälöiden johtaminen mitoitusyhtälöistä	41
8. NORMIN MUKAISEN LUOTETTAVUUSTASON MÄÄRITTÄMINEN	42
8.1 Vaurioitumistodennäköisyydet ja luotettavuusindeksit kalibrointipisteissä.....	42
8.2 Rakenteilta vaadittavan luotettavuustason valinta.....	44
8.3 Normin mukainen luotettavuustaso.....	46
9. OSAVARMUUSLUVUN KALIBROINTI	48
9.1 Kalibrointi kapasiteettia pienentämällä.....	48
9.1.1 Mitoitus pienennetyllä kapasiteetilla	48
9.1.2 Uusi luotettavuustaso ja vertaaminen haluttuun tasoon.....	50
9.2 Kalibrointi kuormaa kasvattamalla.....	53
9.2.1 Mitoitus suuremmilla kuormilla	53
9.2.2 Uusi luotettavuustaso ja vertaaminen haluttuun tasoon.....	54
10. JOHTOPÄÄTÖKSET	55
10.1 Suositus uudeksi osavarmuuskertoimeksi.....	55
10.2 Tilastollisen laadunvalvonnan merkitys	56
10.3 Osavarmuusluvun kalibrointiprosessin arviointi.....	57
10.4 Luotettavuusanalyysin merkitys valmisosatutuotannolle	58
KIRJALLISUUSLUETTELO.....	60
LIITE 1: Laadunvalvonnan mittaustulosten frekvenssihistogrammit	
LIITE 2: Rakenneyhtälöiden aliohjelmalistaukset	
LIITE 3: Laskentatulokset, nykyinen luotettavuustaso	
LIITE 4: Laskentatulokset, kapasiteettia pienentämällä kalibroitu luotettavuustaso	
LIITE 5: Laskentatulokset, kuormaa kasvattamalla kalibroitu luotettavuustaso	

MERKINNÄT

A	Poikkileikkauksen pinta-ala
D	Vaurioalue tai Kolmogorov - Smirnovin testisuure
F_C	Betonin puristusvoima
F_d	Voiman laskenta-arvo
F_k	Voiman ominaisarvo
F_p	Punosvoima
G	Indikaattorifunktio
I	Jäyhyysmomentti
K	Betonin lujuusluokka
L	Jänneväli
M_{g+q}	Pysyvästä ja muuttuvasta kuormasta aiheutuva momentti
N	Simulointien lukumäärä
P_d	Pysyvä kuorma
P_f	Vaurioitumistodennäköisyys
P_{ft}	Tavoitteeksi asetetun luotettavuustason vaurioitumistodennäköisyys
P_{fc}	Kalibroidun normin luotettavuustason vaurioitumistodennäköisyys
P_l	Muuttuva kuorma
P_{TOT}	Kokonaiskuorma
R	Kapasiteetti
R_d	Kapasiteetin laskenta-arvo
S	Kuormien vaikutus
S_d	Kuormien vaikutuksen laskenta-arvo
T	Rakenteen käyttöikä
V	Leikkausvoima tai variaatiokerroin
W	Taivutusvastus tai varoitustekijä
X	Satunnaisvektori
Z	Kapasiteetin ja kuormien vaikutusten erotus, rakenneyhtälö
b	Ontelolaatan leveys
b_w	Ontelolaatan uuman paksuus
e_p	Punosten painopisteen etäisyys neutraaliakselista

e	Punosten painopisteen etäisyys ontelolaatan alareunasta
f_{ck}	Betonin puristuslujuuden ominaisarvo
f_{cd}	Betonin puristuslujuuden laskenta-arvo
f_d	Lujuuden laskenta-arvo
f_k	Lujuuden ominaisarvo
g	Pysyvä kuorma
h	Ontelolaatan korkeus
h_1	Ontelolaatan alakannaksen paksuus
h_2	Ontelolaatan yläkannaksen paksuus
k	Vapausasteiden lukumäärä χ^2 -jakaumassa
l_d	Geometristen parametrien laskenta-arvo
l_k	Geometristen parametrien ominaisarvo
n	Vaurioalueelle osuneiden simulointien lukumäärä
w_i	Painotuskerroin
\bar{x}_i	Satunnaisluku
z	Sisäinen momenttivarsi
z_{χ^2}	χ^2 -yhteensopivuustestin testisuure
l	Ontelolaatan pituuden poikkeama
Φ	Normaalijakauman tiheysfunktio
$\Gamma_{f1,f2}$	Kuorman osavarmuusluvut
$\Gamma_{m1..m5}$	Materiaalin osavarmuusluvut
Γ_h	Haurasmurron osavarmuusluku
θ	Laskennallisen kestävyys- ja kuorman vaikutusten erotus
α	Ontelolaatan vinon leikkaushalkeaman ja vaakatason välinen kulma
β_c	Kalibroidun normin mukaisen luotettavuustason luotettavuusindeksi
β	Luotettavuusindeksi
β_t	Tavoitellun luotettavuustason luotettavuusindeksi
δ	Taivutusveto- ja vetolujuuden suhde tai toleranssi
ϵ_{cu}	Betonin murtopuristuma
μ	Keskiarvo
μ_s	Sosiaaliset tekijät huomioiva kerroin
σ	Jännitys
σ_{p1}	Päävetojännitys

σ_u Vaakasuora normaali­jännitys
 τ Leikkausjännitys

1 JOHDANTO

Erityyppisiä epävarmuustekijöitä joudutaan aina hyväksymään mitoitusmalleihin ja -muuttujiin taloudellisesti valmistetuissa rakenteissa ja elementeissä. Yleisesti on rakenteelta vaadittu sitä suurempi luotettavuus, mitä suuremmiksi vaurioiden vaikutukset ja seuraukset kokemuseräisesti on arvioitu. Näiden kriteerien perusteella luotettavuustason määrittäminen normeihin on sosiaali- ja talouspoliittinen päätös, joka pohjautuu kansalliseen alan asiantuntemukseen.

Epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä ei koskaan täysin voida poistaa, mutta niihin voidaan vaikuttaa esim. parantamalla suunnittelun ja tuotannon tasoa, laadunvarmistusta jne. Näiden seikkojen kehitys rakennusosien valmistuksessa onkin johtamassa yhä luotettavampiin tuotteisiin ja myöskin tuotteista saadun tilastotiedon lisääntymiseen.

Esivalmisteisten rakennusosien valmistajat ovatkin oikeutetusti ehdottaneet, että suunnittelussa tulisi hyödyntää paremmin automaation ja teollistamisen mukanaan tuomia etuja verrattuna työmaatuotantoon. Normien laadinnassa tämä merkitsee materiaalien osavarmuuskertoimien säätämistä sopiviksi niin, että luotettavuustaso säilyisi vaadittuna. Tällaista "säätöprosessia", tai osavarmuuskertoimen kalibrointia, on tässä työssä pyritty toteuttamaan laadunvalvonnasta saadun tilastotiedon ja tilastomatematiikkaan perustuen. Tarkasteltaviksi rakennusosiksi on valittu ehkä parhaimmin ominaisuuksiltaan tunnettu ontelolaatta, josta on käytössä myös tuotannosta saatua tilastotietoa.

2 ONGELMAN KUVAUS

2.1 Rakenteiden luotettavuuden arvioimiskeinot

Rakenteen luotettavuuden tarkastelemiseen käytettävät menetelmät jaetaan nykyään neljään ryhmään (myös taulukko 1):

- deterministisiin
- osittain tilastollisiin
- tilastollisiin ja
- optimointimenetelmiin.

Deterministisissä menetelmissä luotettavuuden arviointiongelmää lähestytään luotettavuuslukujen ja esim. kuormituksen parametrien yhden karakterisen arvon avulla. Rakenteen kapasiteetin ja kuormien ei siis oleteta muuttuvan tilastollisesti. Tämän takia menetelmät ovat helppoja käyttää ja yleisesti sovellettavissa rakenteen mitoittamiseen. Yleisimpiä käytössä olevia deterministisiä menetelmiä ovat sallittujen jännitysten menetelmä ja osavarmuuskerroinmenetelmä, joista jälkimmäistä on käsitelty luvussa 3.

Osittain tilastollisissa menetelmissä otetaan mitoituksessa huomioon suureiden tilastollisia ominaisuuksia, kuten normaalijakauman keskiarvo, hajonta ja muuttujien väliset korrelaatiot. Varmuusindeksimenetelmät kuuluvat tähän luokkaan [Koskisto, 1987].

Tilastollisissa menetelmissä rakenteen luotettavuuden mittana käytetään vaurioitumistodennäköisyyttä. Tarkemmin vaurioitumistodennäköisyyden käsitteestä on luvussa 4.

Optimintimenetelmillä tarkoitetaan luotettavuusmenetelmiä, jotka ottavat huomioon rakennuksen koko elinjakson kannalta vaurion seuraukset esim. taloudellisesti.

Taulukko 1. Luotettavuuden arviointimenetelmät [Melchers, 1987]
(ks. myös luku 3 käsitteiden osalta)

Taso	Laskenta- menetelmät	Todennä- köisyyden jakaumat	Rakenne- yhtälöt	Epävarmuus	Tulokset
1: Determi- nistiset menetelmät	Kalibroin- ti olemas- saolevaan normiin	Ei käy- tössä	Tavalli- sesti lineaari- sia	Mielivalt. kertoimet	Osavarmuus- luvut, sall. jännitykset
2: Osittain tilastolli- set men.	Varmuus- indeksi- menetelmät	Normaali- jakauma	Lineaari- nen tai approksi- moitu	Voidaan ottaa huomioon	Teoreettinen P_f
3: Tilas- tolliset menetelmät	Num. integ- rointi tai simulointi	Täydellinen käyttö	Vapaasti valitta- vissa	Voidaan ottaa huo- mioon satunnais- muuttujina	P_f
4: Opti- mointimene- telmät	Mikä tahansa edellisistä yhdistettynä talou- -delliseen aineistoon				Minimi- hintaa tai hyödyn mak- simi

2.2 Osavarmuusluvun kalibrointi

Rakenteiden suunnittelutehtävää voidaan kuvata rakenteen käytettävyyden maksimoinniksi annettujen lähtötietojen ja reunaehtojen puitteissa [Melchers 1987]. Suunnittelussa voidaan erottaa kaksi näkökohtaa:

- Rakenteen odotetun kokonaiskäytettävyyden optimointi (suunnittelijan tehtävä)
- Suunnittelunormin optimointi (normitoimikuntien tehtävä)

Tässä työssä on pyritty keskittymään jälkimmäisen näkökohdan kaltaiseen tehtävään. Ongelmana on, miten betoninormin yksittäistä osavarmuuslukua voidaan optimoida.

Normin osavarmuuskertoimen määrittäminen voidaan suorittaa "kalibroimalla" eli osavarmuuskertoimen viritetään niin, että sen avulla suunnitellut rakenteet täyttävät tietyn ennalta määrätyn luotettavuusvaatimuksen. Kalibrointiprosessia varten

valitaan joukko rakenteita ja rajatiloja edustamaan normaalissa tuotannossa esiintyviä tapauksia. Luotettavuusvaatimus voidaan esittää esim. tämän joukon vaurioitumistodennäköisyyksien keskiarvona. Näitä joukkoon kuuluvia rakenteita, joilla on tietty rajatila, kutsutaan kalibrointipisteiksi.

Yleensä vaurioitumistodennäköisyyttä laskettaessa saattavat todennäköisyydet poiketa toisistaan deka-deilla. Tämän takia tyydytään usein luotettavuustasoa pitämään oikeana, jos vaurioitumistodennäköisyys ei tarpeeksi suurelle kalibrointipistejoukolle poikkea huomattavasti vaaditusta.

2.3 Kalibrointiprosessin kuvaus

Tässä esitetty osavarmuusluvun kalibrointiprosessin kuvaus perustuu lähinnä lähteen [Melchers, 1987] vastaavaan yhteenvetoon kokeiluluontoisista pioneeriyrityksistä. Kalibrointiprosessin vaiheet ovat esitettävissä kuvan 1 kaavion mukaisesti.

Kalibroinnin ensimmäisessä vaiheessa valitaan suunnittelun kohdealue, jonka osavarmuuslukuja halutaan käsitellä. Esimerkiksi jako voidaan tehdä materiaalin tai tuotantotavan mukaan. Tässä tutkimuksessa on kalibrointi keskittynyt teollisesti tuotettuihin tyyppihyväksytyihin ontelolaattoihin. Tämä mahdollistaa laadunvalvontatiedosta saatujen, todellisten kestävyysparametrien jakaumien hyväksikäytön vaurioitumistodennäköisyyttä laskettaessa.

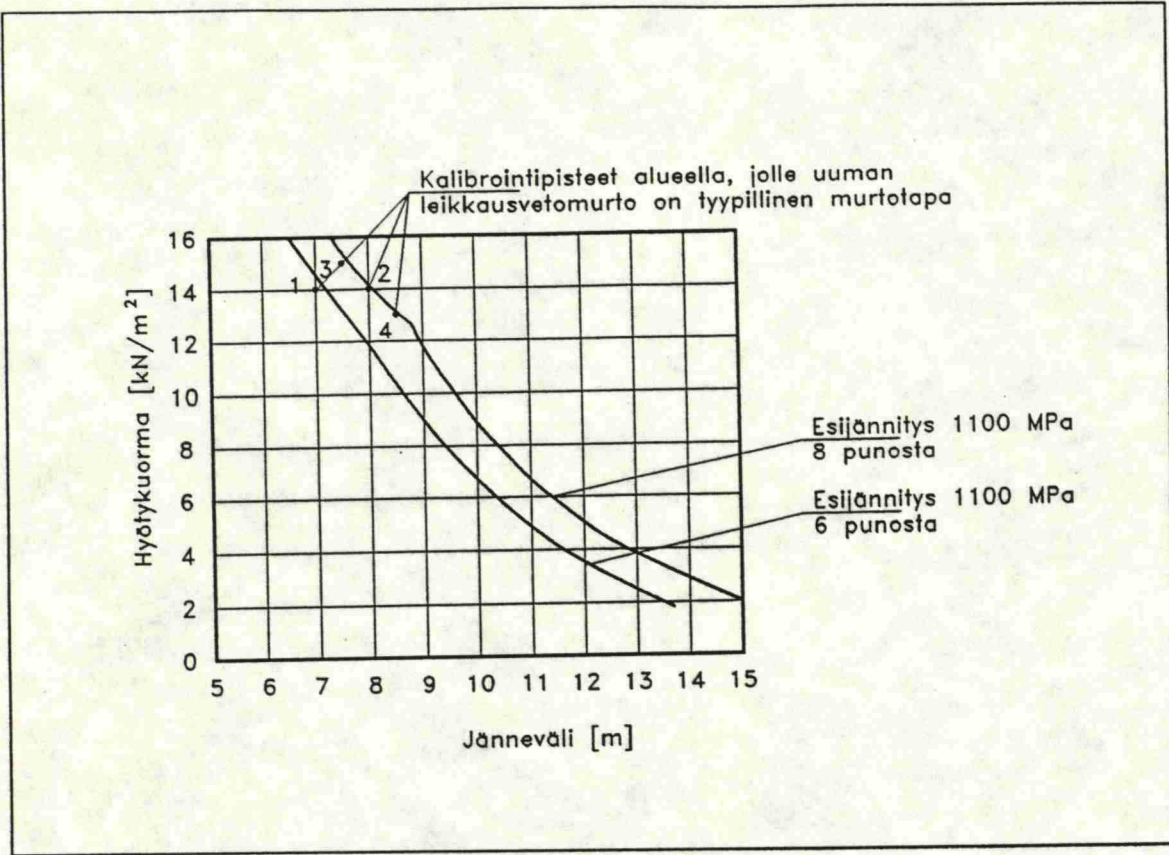
OSAVARMUUSLUKUIJEN MÄÄRITTÄMINEN



Kuva 1. Kalibroinnin kulku.

Toinen kalibroinnin vaihe käsittää kalibrointipisteiden valinnan. Erityisen tärkeää kalibrointipisteiden valinnassa on, että erilaiset suunnittelutapaukset ovat hyvin edustettuina. Vaihetta voitaisiin pitää myös eräänlaisena alustavana mitoituksena, koska tässä vaiheessa on osattava arvioida kalibrointipisteen edustaman rakenteen käyttökelpoisuus prosessia ajatellen eli on osattava arvioida mikä on mitoittava rajatila. Jos rakenne selvästi ei täytä kapasiteettivaatimuksia, ei sitä myöskään voida hyväksyä kalibrointipisteeksi. Tämän takia tässä työssä kalibrointipisteiden valintaa

varten on käytetty valmistajan mitoituskäyrästä, joista voidaan helposti saada edustava joukko kalibrointipisteitä.



Kuva 2. Kalibrointipisteet valmistajan mitoituskäyrästä [Koskisto & Koivu, 1989].

Seuraavaksi käytetään olemassa olevaa normia osavarmuuslukuineen valittujen kalibrointipisteiden mitoittamiseen. Mitoittaminen voidaan suorittaa yleisesti ottaen millä tahansa hyväksytyllä metodilla. Tässä työssä mitoitettavien rakenteiden kestävyttä ei arvioida suoranaisesti betoninormien mukaan vaan käsiteltävät elementit ovat tyyppihyväksynnän alaisia tuotteita. Näin ollen ei kestävyttä arvioida tässä työssä tarkemmin "normin mukaan", vaan alustava mitoitus kelpaa tässä vaiheessa kestävyysarvioinniksi.

Neljännessä vaiheessa määritetään eri kalibrointipisteitä varten ns. rakenneyhtälöt. Rakenneyhtälö voidaan esittää muodossa

$$Z = R - S \quad (1)$$

missä R on kestävyysfunktio,

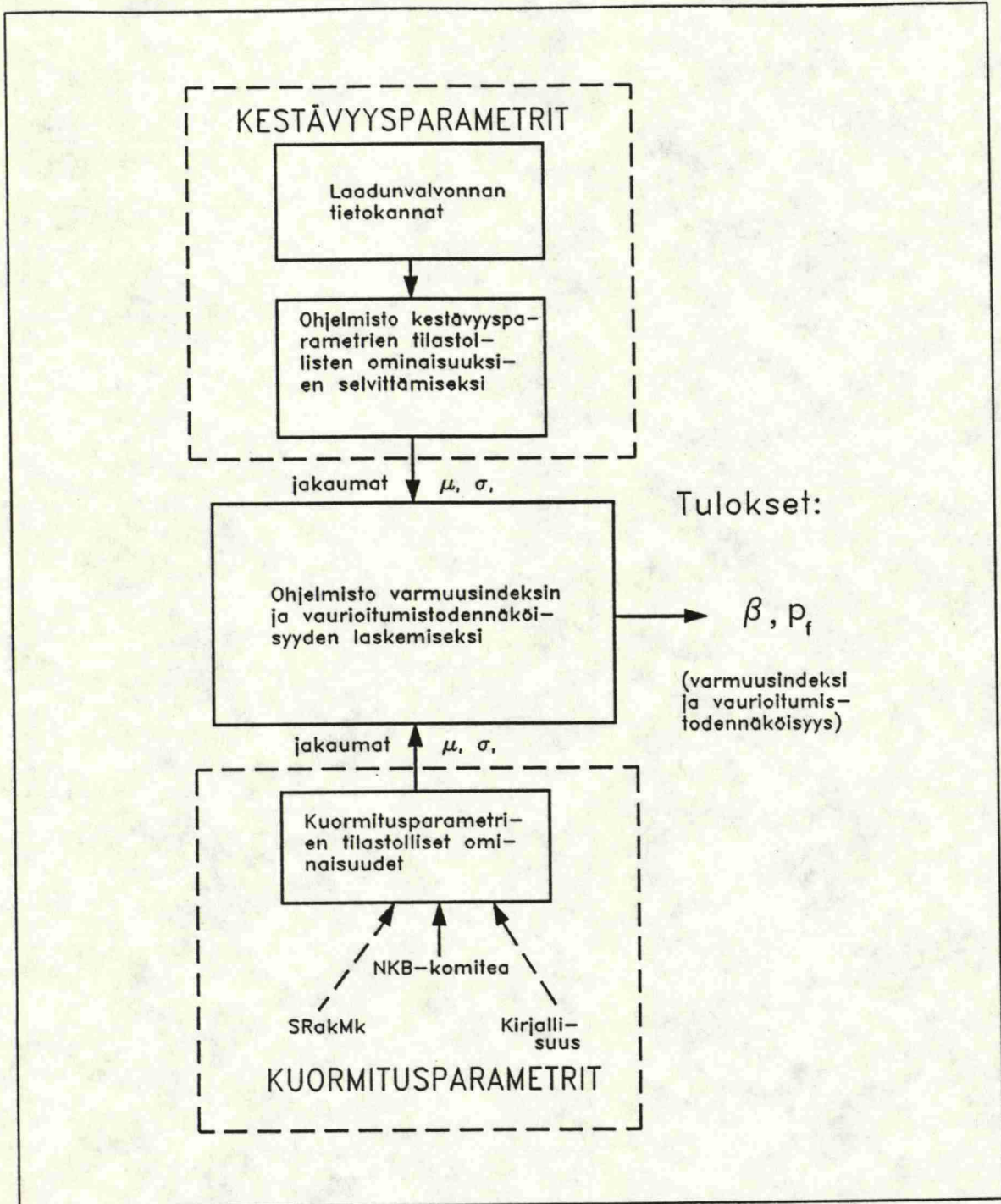
S	kuormitusfunktio ja kun
$Z < 0$	rakenne ei täytä sille asetettuja vaatimuksia sekä kun
$Z \geq 0$	rakenne täyttää sille asetetut vaatimukset.

Rakenneyhtälön tulisi kuvata mahdollisimman tarkasti rakenteelle asetettujen vaatimusten täyttymistä. Rakenneyhtälön tulee olla niiden muuttujien funktio, joille saadaan tai voidaan olettaa tilastollisia ominaisuuksia. Näitä muuttujia kutsutaan perusmuuttujiksi ja ne eivät välttämättä ole samoja kuin edellä käytetyt mitoitusmuuttujat. Esimerkiksi mitoituksessa muuttujana voi olla pelkkä kuorman vaikutus, mutta rakenneyhtälöä varten kuorman vaikutus voi muodostua useasta eri osasta, joille oletetaan erilaisia keskiarvoja ja jakaumatyyppejä. Perusmuuttujiksi tulisi valita ainakin ne, joilla on suuri vaikutus vaurioitumistodennäköisyyteen. Esim. betonirakenteiden kohdalla betonin puristuslujuus kestävyysparametreistä ja muuttuva kuorma kuormaparametreistä ovat merkityksellisimpiä tässä mielessä.

Perusmuuttujien tilastollisista ominaisuuksista tulee selvittää tärkeysjärjestyksessä:

- 1: jakaumatyyppi
- 2: keskiarvo
- 3: hajonta
- 4: perusmuuttujien väliset korrelaatiot

Kuva 3 esittää tässä työssä käytettäviä menetelmiä ja määrittämisperusteita tilastollisten ominaisuuksien ja vaurioitumistodennäköisyyden määrittämiseksi.



Kuva 3. Luotettavuuden laskemisen vuokaavio [Koskisto & Koivu, 1989].

Mitoitusyhtälö on aina malli todellisesta rajatilasta, ja siihen sisältyy aina epävarmuutta. Tämän vuoksi rakenneyhtälöön voidaan sijoittaa ylimääräinen muuttuja, joka huomioi mitoituksessa olevan epätarkkuuden rakenneyhtälöön verrattuna. Tällä ns. insinööritekijällä voidaan kertoa yhtälöä siten, että

kapasiteettia pienennetään. Kertoimelle voidaan epävarmuuden kompensoimiseksi olettaa myös hajontaa.

Kuudenneksi lasketaan rakenneyhtälöiden ja tilastollisten ominaisuuksien perusteella jokaisen kalibrintipisteen vaurioitumistodennäköisyys. Tässä työssä on käytetty vaurioitumistodennäköisyyden laskemiseen tietokoneohjelmaa, joka käyttää simulointitekniikkaa. Tarkemmin menetelmää on kuvattu luvussa 4.

Seuraavassa vaiheessa valitaan luotettavuustaso, jolle uuden osavarmuuskertoimen mukaan mitoitettujen rakenteiden halutaan asettuvan. Vaadittua tai tavoitteeksi asetettua luotettavuustasoa voidaan kuvata joko vaurioitumistodennäköisyydellä (P_{ft}) tai luotettavuusindeksillä (β_t). Laskennan perusteella saatuja vaurioitumistodennäköisyyden (P_{fc}) tai luotettavuusindeksin (β_c) arvoja verrataan nyt haluttuun tasoon. Mikäli lasketut arvot säännöllisesti osoittavat vaaditun tason olevan alempi kuin lasketun ($P_{ft} > P_{fc}$ tai $\beta_t < \beta_c$), voidaan osavarmuuslukua pienentää ja päinvastoin.

Vertailun perusteella valitaan uusi osavarmuusluku, jonka avulla rakenne mitoitetaan uudelleen (vaihe 3). Mitoitus antaa nyt luonnollisesti osavarmuusluvun valinnasta riippuen erilaisia arvoja kestävyys- tai kuorman laskenta-arvoille. Mikäli esim. materiaalin osavarmuuslukua pienennetään, pienenee myös vastaava vaadittu lujuusarvo tai kuorman laskenta-arvoa voidaan kasvattaa.

Vaatimusten muutos vaikuttaa nyt vastaavasti perusmuuttujien arvoihin. Voidaan olettaa, että perusmuuttujien arvot pienenevät samassa suhteessa kuin mitoitusmuuttujatkin. Seuraava vaihe käsittääkin uuden luotettavuustason laskemisen näillä uusilla perusmuuttujien arvoilla. Näin saadaan "uuden normin" mukainen luotettavuustaso, jota kuvaavat uudet tunnusluvut P_f tai β . Lopullisen osavarmuusluvun määrittämiseksi tämän uuden luotettavuustason kalibrintipisteiden tunnuslukuja (β tai P_f) vertaillaan haluttuun tasoon esim. pienimmän neliösumman menetelmällä. Jos saavutettu uusi luotettavuustaso on lähellä asetettua vaatimusta, voidaan osavarmuuskerroin katsoa kalibroiduksi. Mikäli vertailuun ei olla tyytyväisiä, tulee osavarmuusluku valita uudelleen ja "kalibrintiaskeleet" (kuva 1) suorittaa uudelleen.

3 OSAVARMUUSLUKUMENETELMÄ

3.1 Määritelmä

Määritelmän [NKB, 1987] mukaan osavarmuuslukumenetelmä on rakenteen kestävyuden arvioimismenetelmä, jolla todetaan, että asetetut luotettavuusvaatimukset on täytetty. Menetelmä perustuu rajatilojen käyttöön, jolloin tiettyä rajatilaa vastaava kantavan rakenteen luotettavuusvaatimus voidaan ilmaista ehdon (2) muodossa.

$$\theta = R_d - S_d = 0 \quad (2)$$

missä R_d on rakenteen laskennallinen kestävyys ja
 S_d laskennallinen kuorman vaikutus.

Rakenteen laskennollisen kestävyuden voidaan katsoa riippuvan laskentalujuudesta f_d ja rakenteen geometrisistä parametreista l_d . Kuorman vaikutus muodostuu laskentakuormista F_d sekä kertoimesta, joka ottaa huomioon muuttuvien kuormien yhdistämisen. Laskentalujuudet, -kuormat ja laskennalliset geometriset parametrit määritellään seuraavasti:

laskentakuorma	$F_d = \Gamma_f F_k$
laskentalujuus	$f_d = f_k / \Gamma_m$
laskenn. geom. parametrit	$l_d = l_k \pm \delta$

missä Γ_f on kuorman osavarmuusluku,
 Γ_m materiaalin osavarmuusluku,
 F_k kuorman ominaisarvo,
 f_k lujuuden ominaisarvo ja
 δ geometrysten parametrien toleranssi.

Työn kannalta on oleellista ymmärtää, miten ominaisarvot määräytyvät tilastollisen aineiston perusteella.

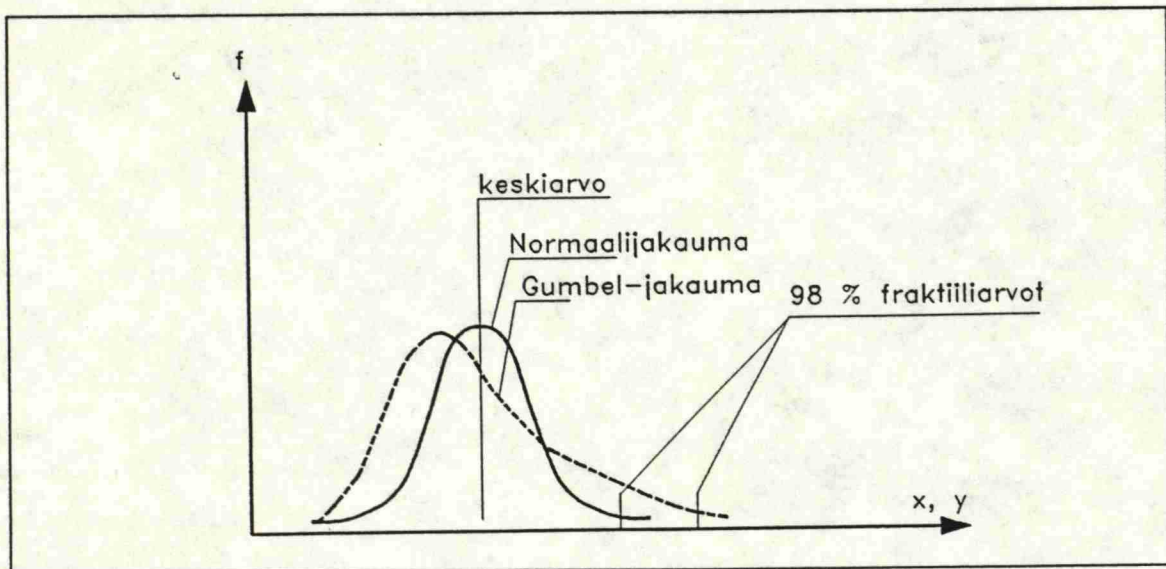
3.2 Ominaiskuormat

Ominaiskuormiksi oletetaan tilastollisesti määriteltyjä arvoja, jotka saadaan havaintoaineistosta tai kokemuseräisesti.

Pysyvän kuorman ei oleteta muuttuvan ajan funktiona ja ominaisarvo määritellään arvona, jota ei ylitetä 50 %:n todennäköisyydellä. Käytännössä tämä usein vastaa esim. rakenneosien omanpainon kohdalla nimellismitoista ja -tiheyksistä laskettua arvoa.

Muuttuva kuorma vaihtelee ajan funktiona. Ominaisarvot määritetään arvona, jota ei ylitetä 98 %:n todennäköisyydellä vuoden aikana.

Ominaisarvojen määräytymistä havainnollistaa kuva 4, jossa on esitetty normaalijakautunut pysyvä kuorma, jonka keskiarvo on μ . Tämä keskiarvo edustaa myös ominaisarvoa. Katkoviivalla on kuvaan piirretty tyypillistä luonnonkuormaa edustavan Gumbel-jakautuneen kuorman tiheysfunktio. Ominaiskuormana tästä on saatu 98 %:n ylitystodennäköisyyden ns. fraktiiliarvo. Kuva havainnollistaa myös kuorman jakaumatyyppin vaikutusta ominaisarvoon. Varsinkin jakauman tiheysfunktioiden "häntien" arvoihin jakaumatyyppillä on huomattava merkitys. Tämä merkitsee sitä, että ominaiskuorman lukuarvo on paljon riippuvainen siitä, millaiseksi jakaumatyyppi voidaan olettaa tai määrittää tilastollisin menetelmin.



Kuva 4. Ominaisarvot

3.3 Kestävyysparametrien ominaisarvot

Lujuuden ominaisarvojen määrittämisessä käytetään yleisesti samaa periaatetta kuin ominaiskuormienkin suhteen. Erona on kuitenkin se, että lujuusarvoille ominaisarvo luetaan jakauman toisesta "hännästä", eli tavallisesti ominaisarvoksi tulisi määräytyä arvo, jota ei aliteta 95 % todennäköisyydellä.

Suomalaisissa betoninormeissa tällaista tarkkaa fraktiiliarvoa käytetään pitämällä betonin puristuslujuutta normaalijakautuneena. Koetuloksista saadusta keskiarvosta ja hajonnasta on laskettavissa 95 prosentin alitustodennäköisyyttä vastaava arvo. Lisäksi otetaan huomioon vielä näytteen koosta riippuva mahdollisuus tehdä tätä lukuarvoa laskettaessa tilastollinen virhe. Saatu lukuarvo edustaa vertailulujuutta, jonka avulla voidaan tietty erä betonia hyväksyä kuuluvaksi tiettyyn lujuusluokkaan.

Mitoituksessa käytettävä puristuslujuuden ominaisarvo saadaan kaavasta (3).

$$f_{ck} = 0.7 \cdot K \quad (3)$$

missä f_{ck} on betonin puristuslujuuden ominaisarvo ja
K betonin nimellislujuus.

Edellinen kaava ottaa huomioon näytekappaleiden lujuuden ja rakenteessa olevan betonin lujuuseron. Lisäksi kaavalla otetaan huomioon myös testikappaletta murrettaessa käytetyn lyhyemmän kuormitusajan vaikutus todelliseen rakenteessa esiintyvään kuormitusaikaan.

Tässä työssä on rakenneyhtälön perusmuuttujana kuitenkin käytetty rakenteesta otettujen näytteiden lujuuksien keskiarvoa.

Geometristen suureiden ominaisarvoiksi valitaan tässä työssä suoraan mittausten perusteella saadut keskiarvot.

3.4 Osavarmuuslukujen huomioimat epävarmuustekijät

Osavarmuuslukumenetelmässä edellä esitetyt materiaalin ja kuormitusvaikutusten osavarmuuslukujen on esim. lähteessä [NKB, 1987] esitetty muodostuvan erilaisista

epävarmuutta aiheuttavista tekijöistä. Osavarmuusluvun jakaminen useaan eri tekijään ei tarkoita, että eri epävarmuutta aiheuttavat tekijät tulisivat näin huomioiduksi todennäköisyysteoreettisesti oikealla tavalla. Etua kuitenkin saavutetaan siinä, että osatekijät voidaan valita niin, että varmuustaso (β tai P_f) pysyy mahdollisimman vakiona eri rakennetyypeille. Epävarmuustekijöiden perusteella tehty jako on esitetty lähteessä [NKB, 1987], jonka mukaan kuorman osavarmuuskerroin Γ_f voidaan esittää lukujen Γ_{f1} ja Γ_{f2} tulona.

Γ_{f1} :n oletetaan ottavan kuormien ominaisarvojen epäedulliset poikkeamat sekä kuormitusmallin epävarmuuden. Lisäksi sillä pyritään huomioimaan kuormien laskentamallin sen osan epävarmuutta, joka ei johdu rakennusmateriaaleista.

Γ_{f2} ottaa huomioon pienentyneen todennäköisyyden useiden kuormien samanaikaiselle esiintymiselle ominaisarvojensa suuruksina.

Materiaalin osavarmuusluvun Γ_m oletetaan määräytyvän viiden luvun ($\Gamma_m = \Gamma_{m1,2..5}$) tulona.

Materiaalin osavarmuusluvulla Γ_{m1} otetaan huomioon kestävyysparametrien epäedullisten poikkeamien mahdollisuus ja koekappaleiden lujuuden ja rakenteen lujuuden välisen muunnoskertoimeen sisältyvä epävarmuus.

Γ_{m2} ottaa huomioon kestävyys- ja geometrisistä parametreista aiheutuvan laskentamallin epävarmuuden sekä kuormista aiheutuvan, rakennusaineesta riippuvan epävarmuuden.

Γ_{m3} ottaa huomioon murtotyypin.

Γ_{m4} ottaa huomioon rakennuspaikalla tai työmaalla (tilastollisen laadunvalvonnan lisäksi) tapahtuvan valvonnan laajuuden.

Γ_{m5} :llä otetaan huomioon vaurion seuraukset.

Kotimaiset betoninormit antavat johdannossa kuvatun kaltaisille tuotteille osavarmuusluvuksi $\Gamma_m = 1,35$. Lisäksi mitoituksessa käytetään hauraan murron esiintyessä ylimääräistä, ns. haurasmurron osavarmuuslukua Γ_h .

Tässä työssä on pyritty tutkimaan lujuusparametrien ja tiettyjen geometristen parametrien mahdollisimman todellisten jakaumien vaikutusta luotettavuustasoon ja sitä kautta edellä esitetyn kalibrointiprosessin kautta osavarmuuslukuun. Tällöin

huomio kiinnittyy lähinnä epävarmuuksien mukaan tehdyn jaon perusteella Γ_{m1} :een, Γ_{m2} :een ja Γ_{m3} :een.

4 LUOTETTAVUUSTEORIA

4.1 Vaurioitumistodennäköisyys

Kantaville rakenteille asetettua luotettavuusvaatimusta voidaan kuvata vuotuisella teoreettisella vaurioitumistodennäköisyydellä. Todennäköisyys P_f , jolla rakenne lakkaa täyttämästä sille asetettuja vaatimuksia, voidaan esittää seuraavasti:

$$P_f = P(R \leq S) \quad (4 a)$$

tai $P_f = P(R - S \leq 0) \quad (4 b)$

tai $P_f = P(R/S \leq 1) \quad (4 c)$

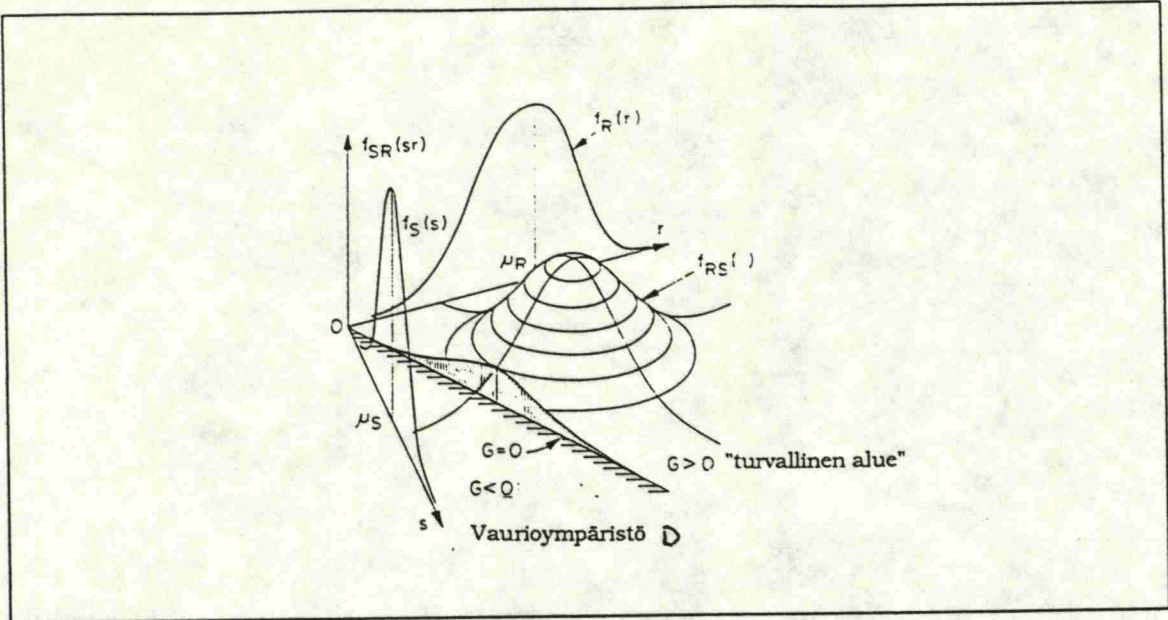
tai yleisessä muodossa

$$P_f = P[G(R, S) \leq 0] \quad (4 d)$$

missä $G()$:llä tarkoitetaan rakenneyhtälöä ja vaurioitumistodennäköisyys on yhtä suuri rajatilan "rikkomistodennäköisyyden kanssa". Jos nyt oletetaan kapasiteetin (R) ja kuormitusten (S) olevan satunnaismuuttujia, vaurioitumistodennäköisyydelle voidaan kirjoittaa

$$P_f = \iint_D f_{RS}(r,s) dr ds \quad (5)$$

missä D on ns. vaurioalue (ks. kuva 5).



Kuva 5. Yhteisjakauman tiheysfunktio.

Kun perusmuuttujat ja niiden ominaisuudet on selvitetty, voidaan vaurioitumistodennäköisyyden yhtälö (5) lausua suoraan niiden avulla. Perusmuuttujia voidaan kuvata vektorilla \mathbf{X} , jolloin rakenneyhtälöä voidaan kuvata $G(\mathbf{X})$:llä ja vaurioitumistodennäköisyydelle saadaan [Melchers, 1987]

$$P_f = P[G(\mathbf{X}) \leq 0] = \int \dots \int_{G(\mathbf{X}) \leq 0} f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}, \quad (6)$$

missä $f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x})$ on perusmuuttujien vektorin \mathbf{X} arvon \mathbf{x} tiheysfunktio, ($\mathbf{X} = \mathbf{x}$ määrittää "pisteen" \mathbf{x}).

Edellä esitetyn kaltainen integraali on yleensä työläs laskettava. Analyttisesti sen laskeminen on muutamia poikkeustapauksia lukuunottamatta mahdotonta. Numeeriset menetelmät ovat nekin varsin aikaavieviä. Viime vuosiin asti simulointiin perustuvat tietokoneavusteiset menetelmät ovat olleet runsasta tietojenkäsittelykapasiteettia vaativia ja siksi kalliita. Parannusta asiaan ovat tuoneet sekä simulointimenetelmien että tietokoneiden laskentakapasiteetin paraneminen.

4.2 Monte Carlo -simulointimenetelmä

4.2.1 Menetelmän periaate

Kuten nimikin antaa olettaa, on Monte Carlo -menetelmässä (MC-menetelmä) kyse "sattumanvaraisten näytteiden" tuottamisesta, joilla simuloidaan suurta koetulosten määrää. Rakenteiden luotettavuuden tutkimisessa ja erityisesti vaurioitumistodennäköisyyden laskemisessa tämä tarkoittaa, että kaavan (6) vektorille X generoidaan satunnainen arvo x_i . Tämän jälkeen tarkistetaan ehto $G(x_i) \leq 0$, ja mikäli tapahtuu rajatilaehdon "rikkomus", rakenne tai elementti on "vaurioitunut". Tämä koe toistetaan monta kertaa tuottamalla joka kerta uusi x_i . Mikäli koe suoritetaan N kertaa, saadaan vaurioitumistodennäköisyyden estimaatiksi

$$P_f \approx \frac{n(G \leq 0)}{N} \quad (7)$$

missä $n(G \leq 0)$ on niiden koearvojen lukumäärä, joille $G \leq 0$.

MC-menetelmien soveltamisessa käytännön ongelmiin on tarpeellista:

- Luoda systemaattinen tapa **satunnaisten** koetulosten luomiseksi.
- Valita sopiva taloudellinen ja luotettava simulointitekniikka tai "koestrategia".
- Harkita $G(X)$:n laskemisen monimutkaisuuden vaikutusta ja perusmuuttujien lukumäärää.

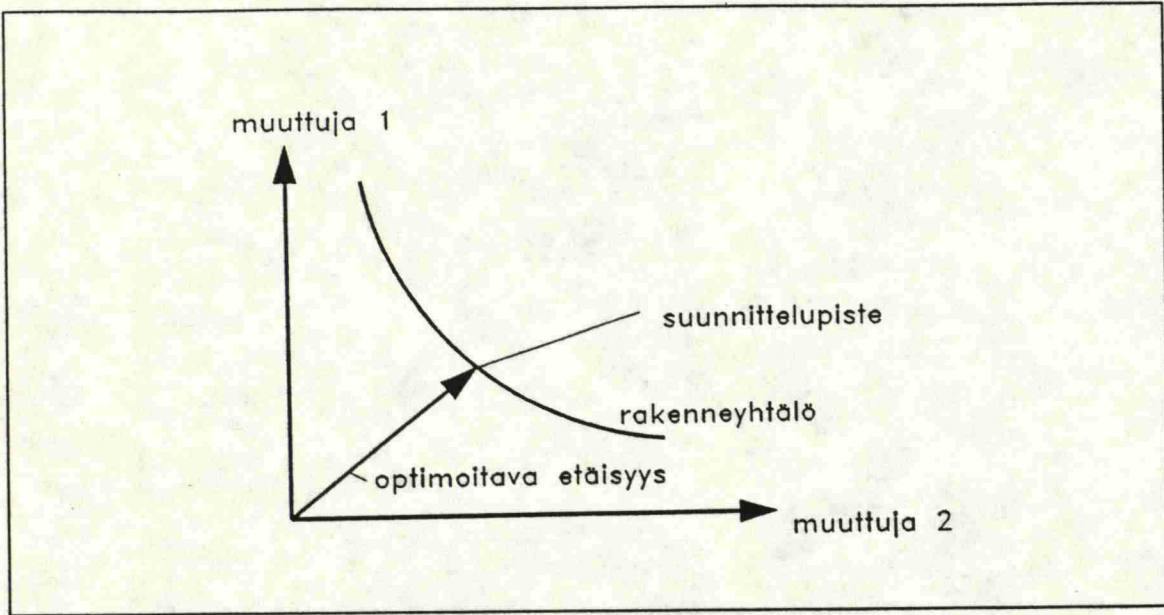
- Osata määrittää oikea määrä satunnaisia "koetuloksia" tarpeeksi tarkan vaurioitumistodennäköisyyden estimaatin saamiseksi.

4.2.2 Simulointi parannetulla Monte Carlo -menetelmällä

Tässä työssä edellä mainitut MC-menetelmän ongelmat on ratkaistu suunnittelupistettä lähtöarvona käyttävää satunnaislukujen painotettua simulointia käyttävässä tietokoneohjelmistossa (Importance Sampling Using Design Point = ISPUD [Bourgund & Bucher, 1987]).

Satunnaislukujen valikoivassa poiminnassa periaatteena on keskittää satunnaislukujen jakauma tärkeimmälle alueelle, ts. alueelle, joka on oleellisin vaurioitumistodennäköisyyden muodostumisen kannalta. Näin satunnaismuuttujia ei tarvitse tuottaa koko perusmuuttujien määrämälle alueelle. Menetelmässä satunnaismuuttujat ovatkin peräisin erillisestä painotetusta tiheysfunktioista $h_Y(x)$ todennäköisyyden yhteisjakauman sijasta.

Painotusfunktion valinnassa ISPUD-ohjelmisto käyttää hyväkseen ns. suunnittelupisteen arvoja. Suunnittelupistettä voidaan havainnollistaa kuvalla 6. Suunnittelupiste on tässä kahden muuttujan tapauksessa rakenneyhtälön käyrän se piste, joka on lyhimmän etäisyyden päässä origosta.



Kuva 6. Pisteen etsintä optimoimalla [Bourgund & Bucher, 1987].

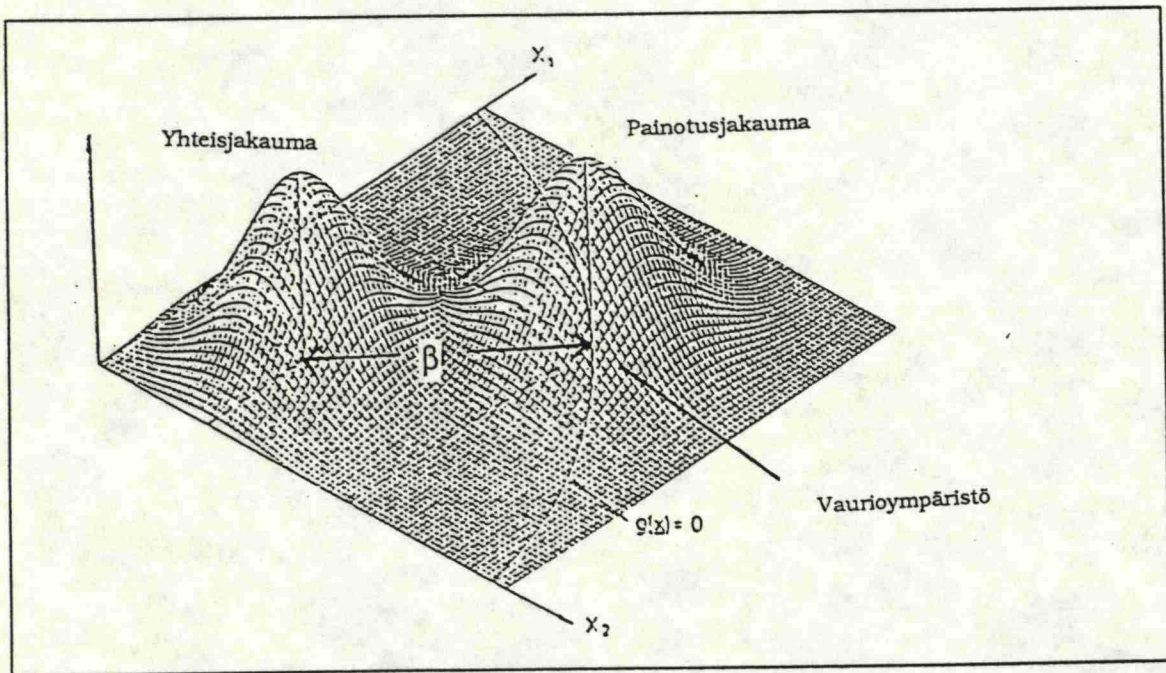
Suunnittelupiste voidaan löytää parhaiten optimointimenetelmällä, jolloin minimoidaan kuvan etäisyyttä δ . Tarkempi kuvaus teoriasta löytyy lähteestä [Bourgund & Bucher, 1987] tai [Schüller & al. 1988].

Suunnittelupisteen koordinaatteja käytetään nyt hyödyksi vaurioitumistodennäköisyyden laskemisessa, koska suunnittelupisteen ympäristöllä on suurin merkitys lopullisen vaurioitumistodennäköisyyden kannalta. Sen takia painotusfunktiona on järkevää käyttää moniulotteisen normaalijakauman tiheysfunktioita $h_Y(\underline{x})$. Simulointi painottuu nyt oikealle alueelle, kun tämän tiheysfunktion keskiarvoina käytetään suunnittelupisteen koordinaatteja. Vaurioitumistodennäköisyyden estimaatille voidaan kirjoittaa

$$P_f = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N [G(\underline{x}_j) \leq 0] \frac{f_x(\underline{x}_j)}{h_Y(\underline{x}_j)} \quad (8)$$

missä $[G(\underline{x}) \leq 0] = 1$, kun $\underline{x} \in D$ (D = vaurioalue),
 $[G(\underline{x}) \leq 0] = 0$ muulloin ja
 $f_X(\underline{x})$ on varsinaisen yhteisjakauman
tiheysfunktio sekä
 $h_Y(\underline{x})$ painotusjakauman tiheysfunktio.

Kuvassa 7 on esitetty em. jakaumat kahden muuttujan tapauksessa ja tarkempi kuvaus teoriasta löytyy mm. lähteestä [Bourgund & Bucher, 1987 tai Melchers, 1987].



Kuva 7. Yhteis- ja painotusjakauma.

Tässä yhteydessä ei ole käsitelty satunnaismuuttujien luomiseen liittyvää tekniikkaa, koska se on varsin laitekohtainen kysymys.

Edellä kuvatun menetelmän suurin hyöty on sen mukanaan tuoma tietojenkäsittelykapasiteetin säästö. Ilman painotusta suoritettussa MC-simuloinnissa jouduttaisiin luokkaa 10^{-5} olevan vaurioitumistodennäköisyyden estimaatin laskemiseksi suorittamaan n. 10^6 simuloitua tapausta, kun nyt riittävän estimaatin saamiseksi on 10^3 tapausta tarpeeksi.

5 ONTELOLAATTOJEN MITOITUS

5.1 Perusteista ja mitoituskäytännöstä

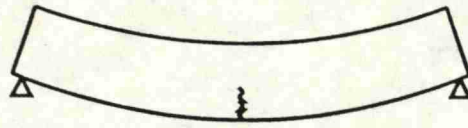
Perustana ontelolaattojen tarkasteluun on tässä työssä käytetty lähteen [Pajari 1989] mitoitusmenetelmiä. Työn luonteen vuoksi on pitäyditty käsittelemään ainoastaan murtorajatiloja.

Ontelolaattojen mitoitusmenetelmille on tyyppihyväksynnän vuoksi luonteenomaista, että ne poikkeavat valmistajittain. Lopullinen lujuustarkastelu suoritetaan lähes poikkeuksetta tehtaalla, joten suunnittelijan tehtävänä on ainoastaan tarkistaa laatan käyttökelpoisuus jännevälin ja kuorman suhteen sekä valita näiden tekijöiden muodostamalta mitoituskäyrästä (ks. kuva 2) alustavasti punosten lukumäärä.

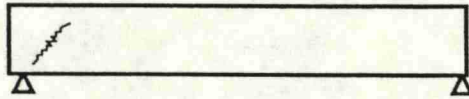
Varsinaiseen mitoitukseen työn ensimmäisessä vaiheessa ei jäljempänä esitettyjä menetelmiä ja kaavoja ole käytetty. Tämä lähinnä sen vuoksi, että eri valmistajien lopulliset mitoistavat saattavat poiketa toisistaan. Sen sijaan menetelmien avulla on myöhempänä laskettu rakenneyhtälöt eri murtotapoja ja kalibrointipisteitä varten. Lisäksi mitoitus on suoritettu uuden osavarmuusluvun arvolla lähteen [Pajari, 1989] menetelmiin perustuvalla tietokoneohjelmalla.

Tässä työssä on ontelolaattaa tutkittu pikemminkin yksilönä eikä laatastonsa osana, kuten se valmiissa rakenteessa esiintyy. Tämä siksi, että laatastonsa kuormien ja kapasiteetin ominaisuuksia on vaikea mallintaa ja että ontelolaattatehtaat mitoittavat yleensä laattansa yksi kerrallaan. Ontelolaatta toimii yleensä yhteen suuntaan kantavana, päistään nivelellisesti tuettuna laattana. Punoksia on näissä yleisimmissä tapauksissa vain laatan alareunassa. Tässä työssä on keskitytty juuri näihin, useimmiten ylä-, väli- ja alapohjissa käytettäviin laattoihin, ja jätetty ulokkeina tai seinäelementteinä käytetyt laatat huomiotta.

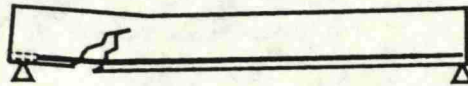
Koska käyttörajatiloja ei tässä tutkimuksessa tarkastella, jää laattojen murtotavoista käsiteltäväksi ainoastaan neljä tapausta, jotka on esitetty kuvassa 8.



Halkeamismurto



Uuman leikkausvetomurto



Ankkurointimurto



Taivutusvetomurto

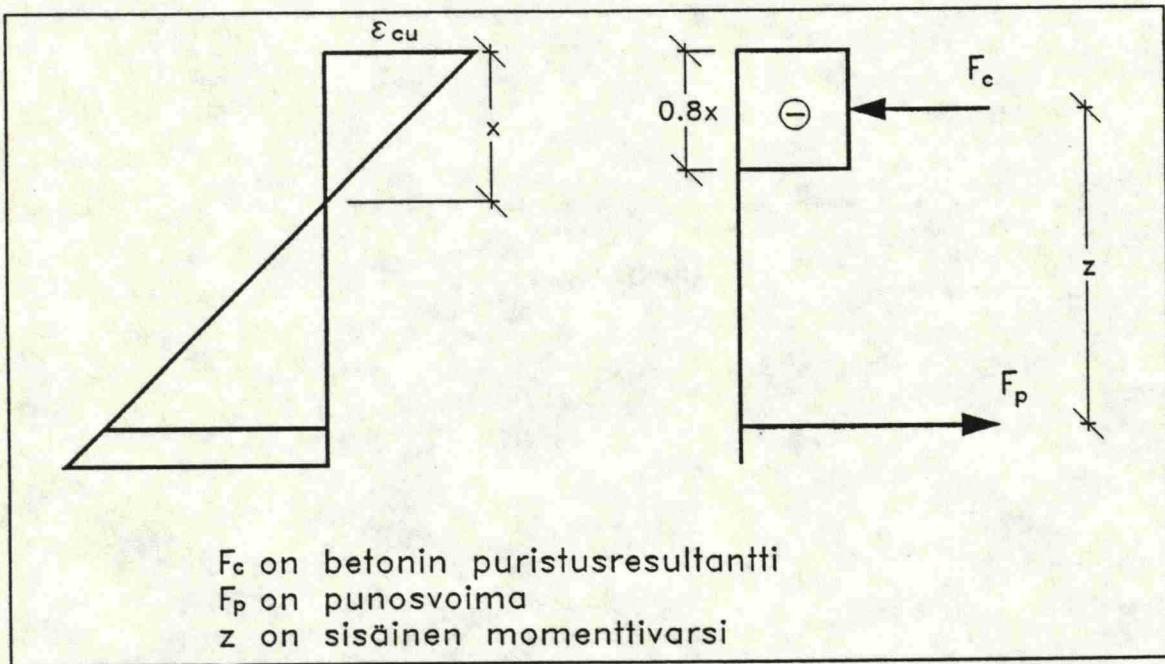
Kuva 8. Työssä käsiteltävät ontelolaatan rajatilat [Pajari, 1989].

5.2 Taivutusvetomurto

Taivutusvetomurrolla ymmärretään punosten myötäämistä tai katkeamista kun betoni on laatan alareunasta haljennut. Tämä edellyttää, että betoni ei murru laatan yläpinnasta ja punosten tartunta on riittävä. Punosten katkeamista esiintyy useimmiten korkeissa ja niukasti raudoitetuissa laatoissa. Matalissa laatoissa eivät punokset yleensä katkea, vaan laatta menettää käytettävyytensä taipuman vuoksi. Tämä johtuu punosten luistamisesta laatan keskiosassa.

Taivutusmurron tarkastelussa otaksutaan betonin ja teräksen välinen liukuma kuitenkin nolaksi, joten punoksen venymä saadaan betonin keskimääräisen venymän ja punosten esijännityksen aiheuttaman venymän summana.

Tarkastellaan tilannetta, jossa betonin yläreunan puristuma on murtopuristuman ϵ_{cu} suuruinen ja punoksen venymä on 0.2 % + kimmoinen venymä. Tätä venymätilaa voidaan olettaa vastaavan voimien tasapainotilan, jolloin betoni murtuu ja punokset myötäävät. Puhutaan tasapainomurrosta.



Kuva 9. Betonipoikkileikkauksen venymäkuvio ja betonin jännitys jakauma ja puristusvoimat ontelolaatassa tasapainomurtotapauksessa.

Tasapainomurtotarkastelussa käytetään kuvan 9 mukaista jännitys jakauma oletusta. Puristusjännityskuvion korkeudeksi otaksutaan $0.8x$, missä x on venymäkuviosta saatu neutraaliakselin etäisyys yläreunasta. Jokaisessa kalibrointipisteessä on oletettu, että puristusjännityskuvio on onteloiden yläpuolella. Näin säästytään mitoittamisessa iteroinnilta, mikä on myös rakenneyhtälön muodostamisen kannalta suositeltavaa. Tähän on syynä se, että rakenneyhtälö on kapasiteetin ja kuormien vaikutusten erotus, jota verrataan nollaan ja jossa jonkun muuttujan arvon määrittäminen iteroimalla vaikeuttaa vaurioitumistodennäköisyyden laskemista simulointitekniikalla. Tähän ongelmaan on törmätty ankkurointimurrossa.

Tasapainomurrossa punosvoimat ovat yhtäsuuret betonin puristusresultantin kanssa. Tällaista tasapainotapausta ei yleensä käytännössä koskaan esiinny murren yhteydessä. Yleisesti myös taivutuspuristumurren esiintyminen aina estetään esimerkiksi vähentämällä punoksia, joten realistiseksi käsiteltäväksi vaihtoehdoksi luotettavuustarkastelua varten jää terästen myötääminen tai katkeaminen. Murren oletetaan tapahtuvan siten, että ensin punos saavuttaa 0.2-ajan, mutta betonin reunapuristuma ei vielä ole saavuttanut murtopuristuman arvoa eikä betoni vielä murre. Kuormitusta lisättäessä punos venyy lisää, mutta sen voima ei kasva. Vastaavasti betonin murtopuristuma kasvaa ϵ_{cu} :n suuruisiksi.

Kun punosvoimien momentti lasketaan betonin puristusresultantin F_c :n vaikutuspisteen suhteen, saadaan momenttikapasiteetiksi kuvan 9 merkinnöin

$$M_u = F_p \cdot z \quad (9)$$

5.3 Halkeamismurto taivutuksessa

Pienillä punosmäärillä tai tietyn ajan alittavalla ankkurointivoimalla saattaa betonin halkeaminen laatan alapinnasta johtaa murtoon ilman lisäkuormitusta. Murtorajatilassa mitoitusena voidaan pitää tällöin kaavaa (10) [Pajari, 1989].

$$f_{ctf} + F_p/A + F_p \cdot e_p/W - M_{q+g}/W > 0 \quad (10)$$

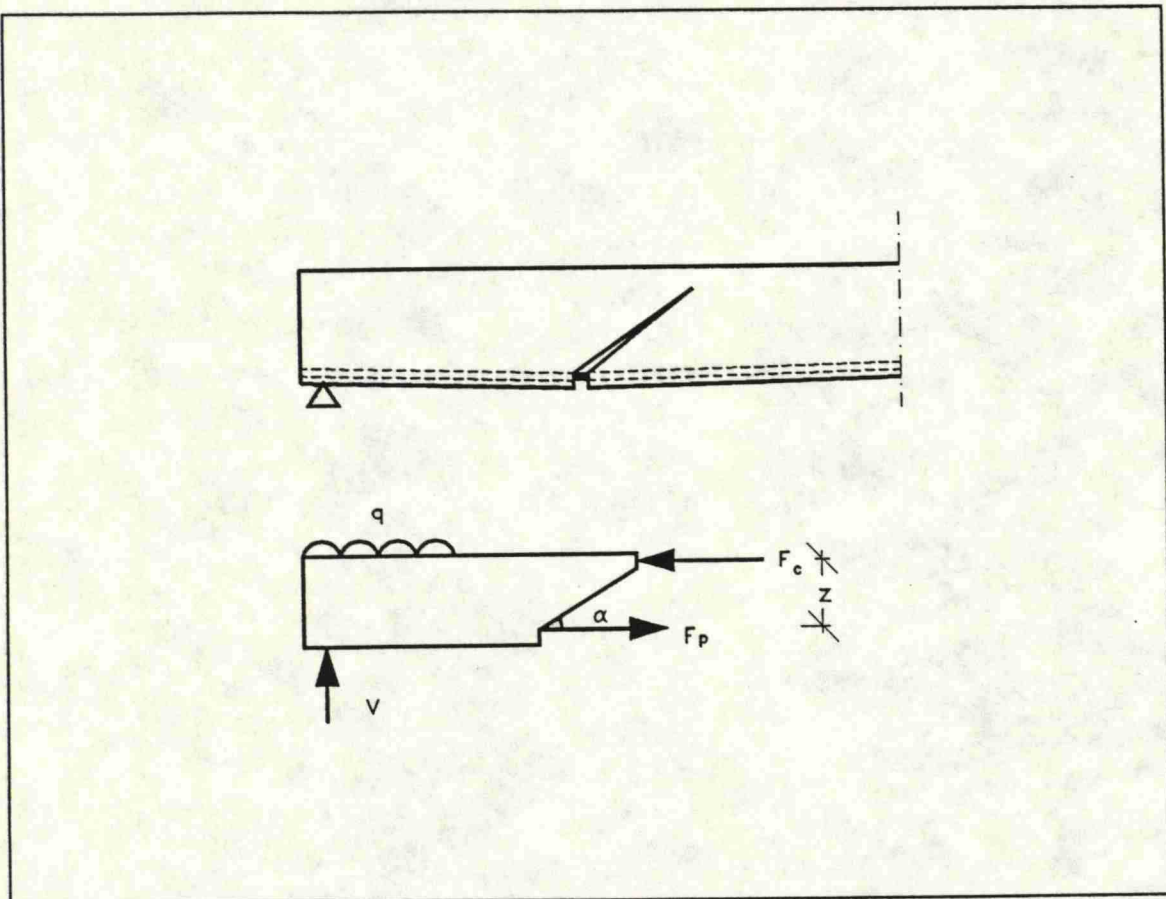
missä	f_{ctf}	on	betonin taivutusvetolujuus,
	A		laatan poikkileikkauksen ala,
	e_p		punoksen painopisteen etäisyys alareunasta,
	W		poikkileikkauksen taivutusvastus ja
	M_{q+g}		momentti ulkoisesta kuormasta sekä omapainosta.

Betonin taivutusvetolujuuden arvoa laskettaessa on huomioitava laatan korkeuden vaikutus. Pajari esittää työssään raudoittamattomille poikkileikkauksille kokeellisesti saatuja taivutusvetolujuuden ja keskeisen vetolujuuden suhteita

poikkileikkauksen funktiona. Näitä tuloksia on käytetty tässä työssä hyväksi myöhemmin rakenneyhtälöitä muodostettaessa (luku 7).

5.4 Ankkurointimurto ja leikkauspuristusmurto

Ankkurointi- ja leikkauspuristusmurtotapauksia tarkasteltaessa voidaan keskittyä kuvan 10 mukaiseen tilanteeseen.



Kuva 10. Taivutushalkeamana alkanut vino leikkaushalkeama ja vapaakappale kuvio ankkurointimurron tarkastelua varten [Pajari, 1989].

Punosten ankkuroinnin ollessa riittävä, vinon halkeaman syntyminen ei vielä murra laattaa. Kuormitusta lisättäessä halkeamaleveys kasvaa ja punokset myötäävät tai katkeavat, luistavat tai betoni murtuu puristuspuolelta. Vastaavasti puhutaan taivutusvetomurrosta, ankkurointimurrosta tai leikkauspuristusmurrosta.

Ontelolaattojen osalta on leikkauspuristusmurtion aikaansaaminen kokeellisesti kovin vaikeaa. Se edellyttää niin suurta halkeamaleveyttä ja punosten liukumaa

laatan alareunassa, että ankkurointimurron voidaan katsoa tulevan vastaan ennen puristuspuolen murtumista. Tässä työssä, kuten mitoituksessakin, lähdetään siitä olettamuksesta, ettei leikkauspuristusmurtoa tarvitse ottaa huomioon.

Kuvan 11 vapaakappaleen kulmalle α voidaan nyt, olettamalla betonin haljenneeksi laatan alareunasta sekä leikkausvoiman kääntäneen halkeamaa, kirjoittaa [Sarja & Nykyri, 1982]

$$\alpha_z = \alpha_0 + (1 - V_z/V_0) \cdot (90^\circ - \alpha_0) \quad (11)$$

missä α_z on kulma, jonka kärki on etäisyydellä z tuelta,

α_0 ontelolaatoille 35° ,

V_0 leikkausvoima tuella ja

V_z leikkausvoima etäisyydellä z .

Mitoituksessa tässä kiertymämallissa oletetaan betonin puristusresultantin paikan olevan sama kuin taivutuksessa. Tällöin mitoitus on varmalla puolella, koska leikkausvoiman puristuspintaa pienentävää vaikutusta ei ole huomioitu.

Mitoitusehdoksi voidaan kuvan 11 perusteella nyt kirjoittaa

$$F_p \cdot z - M_u \geq 0 \quad (12)$$

M_u viittaa halkeaman yläpään kohdalla laskettuun taivutusmomenttiin.

Tässä menetelmässä joudutaan tilanteeseen, jossa ei voida etukäteen tietää, mihin halkeama vajaan ankkuroinnin alueella muodostuu. Käytännön mitoituksessa tämä tarkoittaa sitä, että ko. alueelta joudutaan valitsemaan joukko poikkileikkauksia, joista kaavan (12) minimiarvo antaa oikean halkeaman muodostumiskohdan. Rakenneyhtälön ja vaurioitumistodennäköisyyden laskemisen kannalta tällä on sikäli hankaloittava merkitys, että halkeamakohta on ensin löydettävä ja sen jälkeen voidaan vasta muodostaa rakenneyhtälö.

5.5 Leikkausvetomurto

Leikkausvetomurrolla ymmärretään tuen läheltä uumasta alkavaa halkeilua, joka johtaa äkilliseen, hauraaseen murtumaan. Leikkausvetomurrossa murtumiskriteeri saadaan vertailemalla suurinta päävetojännitystä σ_{p1} betonin vetolujuuteen f_{ct} .

Mitoitusehdoksi saadaan

$$\sigma_{p1} = \sigma_u/2 + \sqrt{\sigma_u^2/4 + \tau^2} \leq f_{ct} \quad (13)$$

missä σ_u on vaakasuora normaalijännitys ja
 τ leikkausjännitys.

5.6 Kalibrointipisteiden mitoitus

Kuten edellä jo todettiin, varsinaista mitoitusta tässä työn vaiheessa luvun 2.3 tarkoittamassa laajuudessa ei ole tehty. Kalibrointipisteet on valittu valmistajien mitoituskäyrästä (kuva 2) suoraan, jolloin ne myös täyttävät tyyppihyväksynnän vaatimukset.

6 LAADUNVALVONNAN MITTAUSTULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

6.1 Tyyppihyväksynnän edellyttämä laadunvalvonta

Ympäristöministeriön rakennuslain nojalla myöntämissä rakennusosakohtaisissa tyyppihyväksyntäpäätöksissä on asetettu vaatimuksia tuotteeseen käytetyistä materiaaleista, suunnitteluperusteista ja tuotteen ominaisuuksista. Laadunvalvonnassa noudatetaan tyyppihyväksytyjen tuotteiden osalta Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) ja valmistajan välillä tehtyä erillistä laadunvalvontasopimusta.

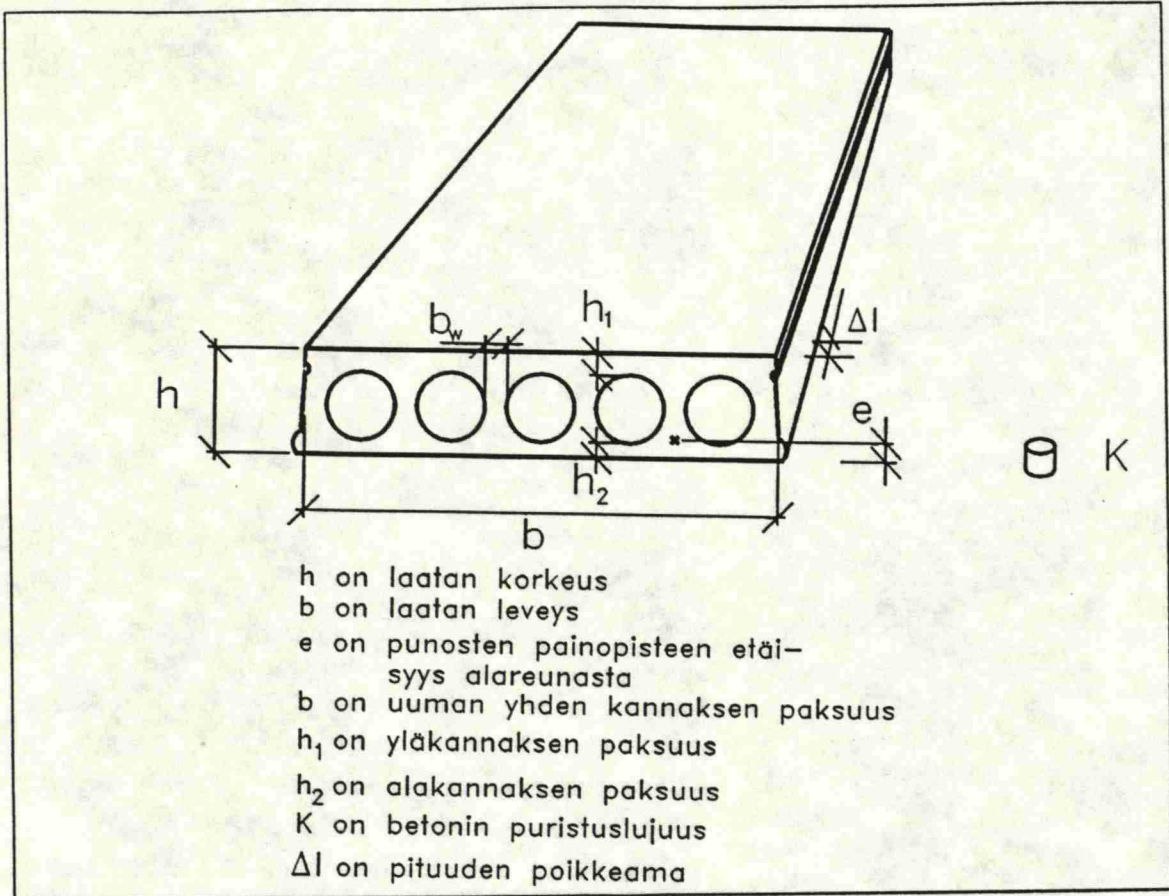
Tuotteen laatuvaatimukset on sopimuksessa määritelty siten, että ontelolaattaelementtien tulee viranomaismääräysten ja -ohjeiden lisäksi täyttää tietyt varmuusvaatimukset laaduntarkastuskokeessa. Lisäksi sopimuksessa on ohjeet valmistajan laadunvalvonnasta, koejärjestelyistä, mittauksista, valmistuksesta jne. Koe- ja mittaustuloksista valmistajat raportoivat VTT:lle kolmannesvuosittain.

6.2 Käytetyt laadunvalvonnan mittaustulokset

Tässä tutkimuksessa käytetyt lähtötiedot ovat peräisin joko valmistajan laadunvalvonnan VTT:lle kolmannesvuosittain tehtävistä raporteista tai suoraan tehtaan sisäisestä laadunvalvonnasta. Aineistosta voidaan erottaa dimensiomittaukset ja koestustulokset. Periaattessa jokaiselta tehtaalta on otos jokaisesta laattatyypistä dimensioittain sekä koestustuloksista kaikkien laattojen osalta.

VTT:lle raportoitavat dimensiomittaustulokset edellyttävät valmistajalta mittaukset valmiista tuotteista jokaisen valualustan ensimmäisen, kolmannen ja viimeisen elementin pituudesta, elementin korkeudesta, punosten korkeusasemista, reunimmaisten punosten etäisyyksistä elementin reunasta sekä punosten liukumista. Mittauksista kuitenkin raportoidaan vain kolmannen elementin arvot. Kahden tehtaan osalta käytössä olleet sisäisen laadunvalvonnan dimensiomittaukset olivat huomattavasti edellisiä täydellisempiä ja myöskin tämän tutkimuksen kannalta hyödyllisempiä. Niistä saatiin tuloksia myös laattojen ylä- ja alakannasten paksuuksista, uuman yhden kannaksen paksuudesta sekä laatan leveydestä (ks. kuva 12).

Koestustuloksista oli käytössä kuuden tehtaan VTT:lle raportoimat tulokset ja kahden tehtaan sisäisen laadunvalvonnan tulokset. Käytetyt koestustulokset olivat tässä työssä yksinomaan rakennekoekappaleista saatuja puristuslujuustuloksia. Näiden katsottiin korreloivan paremmin rakenteen todellisen ainelujuuden kanssa, koska valutavan vaikutus tulee näin otetuksi huomioon. Näytteenottotiheys on vähintään yksi koekappale jokaista alkavaa 150 m³ betonierää kohti.

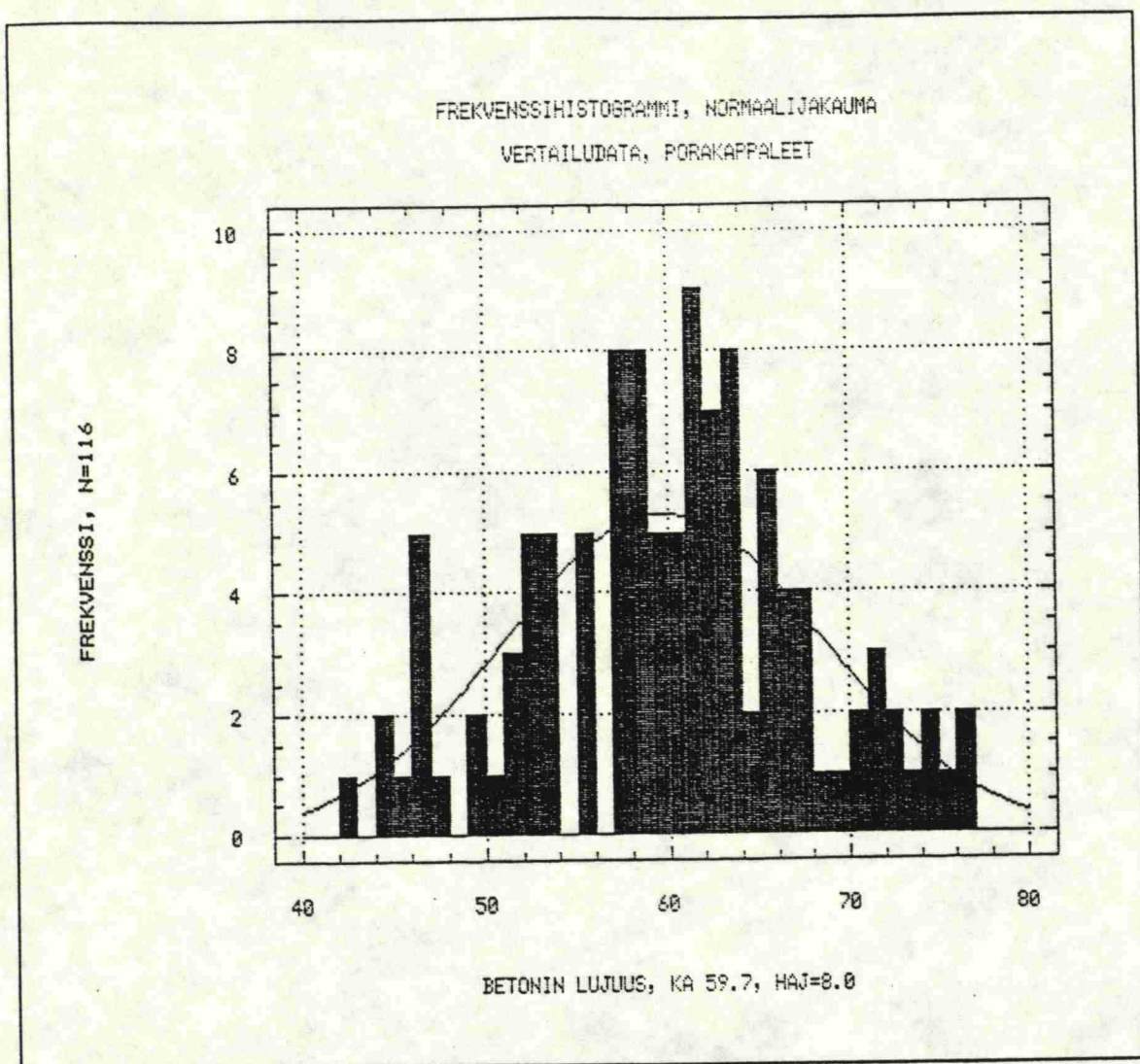


Kuva 12. Laadunvalvonnasta saatavat mittaustulokset

Ajallisesti tulokset sijoittuvat vuoteen 1988. Mittaustulosten määrä poikkeaa huomattavasti tehdaskohtaisesti jo valmistusmäärien takia. Tehtaan sisäisestä laadunvalvonnasta oli yleensä niin paljon mittaustulosainestoa käytössä, että tilastollisen otoksen saamiseksi oli riittävää valita satunnaisesti mittaustuloksia aineistosta. Osa tehtaista oli tuottanut jo valmiiksi mittaustuloksistaan suhteelliset frekvenssihistogrammit eli tuloksen siitä, miten monta prosenttia kutakin mittaustulosta on koko otoksesta. Näissä tapauksissa tutkimuksessa syötettiin suhteelliset osuudet suoraan otoksena, eli yksi prosentti vastasi yhtä mittaustulosta.

6.3 Jakaumatyyppien ja tunnuslukujen määrittäminen

Jakaumatyyppien määrittämiseksi tulostettiin jokaisesta otoksesta frekvenssihistogrammi, joissa pääasiallisesti vertailtiin frekvenssien sopivuutta normaalijakaumaan. Esimerkki tyypillisestä frekvenssihistogrammista on esitetty kuvassa 13 ja muut otoksista saadut frekvenssihistogrammit on esitetty liitteissä 1.



Kuva 13. Tyypillinen mittaustulosaineistosta tehty frekvenssihistogrammi.

Otoksia vertailtiin lisäksi kahden tilastollisen testin, Kolmogorov - Smirnovin ja χ^2 -testin avulla [Milton & Arnold, 1986]. Useimmissa tapauksissa tosin jo frekvenssihistogrammin perusteella oli nähtävissä kannattaako tarkempaa tilastollista testiä tehdä otokselle. Niinpä kaikille otoksille ei testejä ole tehty. Joissain tapauksissa otoskoko oli niin suuri (esim. punosten etäisyydet alareunasta, > 3000), ettei käytetty tietokoneohjelmisto kyennyt suorittamaan testejä.

Testeistä edellinen tulostaa oletetun jakauman ja kokeellisen kertymäfunktion arvojen erotukseen perustuvan testisuureen D. Mitä suurempi D:n arvo on valitulla riskitasolla, sitä huonommin aineisto sopii oletettuun jakaumatyyppiin. Kriittinen D:n arvo riippuu otoskoosta ja riskitasosta. Riskitasolla tarkoitetaan sitä todennäköisyyttä, jolla tehdään virhe jakaumaoletusta tehdessä.

X^2 -testissä [Laininen, 1979] havaintoaineisto luokitellaan k luokkaan. Jos luokkiin tulevia otoksen frekvenssejä merkitään n_1, \dots, n_k ja vertailtavan jakauman ns. odotettuja frekvenssejä g_1, \dots, g_k , voidaan frekvenssien yhteensopivuutta mitata testisuurella

$$z_{X^2} = \sum_{i=1}^k (n_i - g_i)^2 / g_i \quad (14)$$

Jos em. testisuure on arvoltaan pieni, havaitut ja odotetut frekvenssit sopivat hyvin yhteen. Testisuure on yhteensopivuuden pätiessä $n:n$ kasvaessa X^2 -jakautuneen satunnaismuuttujan arvo vapausastein $k-1$ [Elfving, 1956]. X^2 -testi edellyttää suurempaa otoskokoa luotettavan tuloksen saamiseksi kuin Kolmogorov-Smirnovin testi. Koska otoskoko kuitenkin tässä työssä oli lähes aina suurempi kuin 50, on X^2 -testiä käytetty useammin sen havainnollisemman tulostuksen ansiosta. Esimerkki tyyppillisestä aineistolle suoritetulle X^2 testille on esitetty taulukossa 3 ja tulokset mittaustulosaineiston jakauman yhteensopivuuksista on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 3: Esimerkki X^2 -testin tulostuksesta.

Chisquare Test: SEMERAN 5-ONTELOISET LAATAT, PUNOSTEN ET. ALAREUNASTA					
NORMAALIJAK.	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chisquare
at or below		32.50	6	7.0	.13079
	32.50	33.50	5	6.4	.30261
	33.50	34.50	12	9.6	.59127
	34.50	35.50	13	12.7	.00849
	35.50	36.50	16	14.6	.12890
	36.50	37.50	16	14.8	.09928
	37.50	38.50	14	13.1	.06260
	38.50	39.50	8	10.2	.45787
	39.50	40.50	5	6.9	.52271
above	40.50		8	7.8	.00496
Chisquare = 2.30927 with 7 d.f. Sig. level = 0.940762					
SUUNNITTELUARVO = 35.00, KESKIARVO = 36.58, HAJONTA = 2.7 Anna					
X^2 -testisuure on pieni ja merkittävyytaso suuri, joten tässä yhteensopivuus on hyvä.					

Taulukko 4. Yhteenvedo otoksien tilastollisista ominaisuuksista.

Taulukossa on merkitty jakauman kohdalle tilastollisesti hyväksyttävä, paras jakaumatyyppi tai sulkuihin sopivin jakaumatyyppi, mikäli tilastollisesti ei mikään ole hyväksyttävissä. Mikäli merkintä puuttuu, ei jakaumayhteensopivuustestiä ole tehty.

KORKEUS nimellis- arvo [mm]	jakauma	keskiarvo [mm]	hajonta [mm]	variaa- tiokerroin [%]
150		152.6	2.26	1.5
150		149.4	2.07	1.4
150	(norm.)	151.4	1.74	1.1
150	normaali	153.9	1.95	1.3
155	normaali	158.1	2.80	1.8
200		199.4	2.03	1.1
200		200.6	2.98	1.5
200	(norm.)	201.7	2.14	1.1
200	normaali	202.3	1.71	0.8
200	normaali	204.5	3.16	1.5
265	normaali	266.8	2.83	1.1
265	normaali	159.7	2.84	1.1
265		262.4	2.76	1.1
265		262.4	2.40	0.9
265		268.4	3.19	1.2
265	normaali	266.5	2.52	0.9
265		265.8	3.26	1.2
400	normaali	400.1	4.97	1.2
400		401.4	4.91	1.2
400	(log.n.)	399.1	5.72	1.4
400		401.4	3.61	0.9

PUNOSTEN ETÄISYYDET ALAREUNASTA:

nimellis- arvo [mm]	jakauma	keskiarvo [mm]	hajonta [mm]	variaatio- kerroin [%]
35		34.33	3.59	10.5
35		33.98	4.18	12.3
35		38.51	4.38	11.4
35		38.67	3.47	9.0
35	(log.n.)	38.05	4.40	11.6
35	normaali	36.58	2.73	7.5
35		36.69	4.75	12.9
35	(norm.)	32.40	4.60	14.2
35	(norm.)	32.76	5.50	16.8
35		32.84	3.72	11.3
35		34.57	5.03	14.6
35	(norm.)	34.58	2.55	7.4

Taulukko 4, jatkuu

35	normaali	33.17	2.28	6.9
35		38.53	4.19	10.9
35		33.25	5.13	15.4
35	normaali	31.63	3.08	9.7
35	normaali	34.36	3.42	10.0
35	(norm.)	31.51	2.67	8.5
30	(norm.)	30.66	5.65	18.4
35	normaali	36.55	5.13	14.0
35	normaali	39.49	3.73	9.3
35	(norm.)	38.75	4.05	10.5
35	(norm.)	30.96	3.43	11.1

ALAKANNASTEN PAKSUUDET:
(Otokset vain yhden tehtaan laattojen osalta)

nimellis- arvo [mm]	jakauma	keskiarvo [mm]	hajonta [mm]	variaatio- kerroin [%]
30		29.9	2.4	8.0
30		30.9	4.3	13.9
25		28.7	2.9	10.1
20		23.9	3.0	12.6
40		37.9	3.0	7.9

YLÄKANNASTEN PAKSUUDET
(Otokset vain yhden tehtaan laattojen osalta)

nimellis- arvo [mm]	jakauma	keskiarvo [mm]	hajonta [mm]	variaatio- kerroin [%]
55		56.1	4.3	7.7
50		50.2	2.5	5.0
50		51.9	3.1	6.0
35	(norm.)	34.0	2.7	7.9
30		32.2	2.8	8.7

UUMAN YHDEN KANNAKSEN PAKSUUS
(Otokset kahden tehtaan laattojen osalta)

nimellis- arvo [mm]	jakauma	keskiarvo [mm]	hajonta [mm]	variaatio- kerroin [%]
40		38.8	2.5	6.4
40		39.9	1.3	3.3
40		37.2	3.8	10.1
60		63.9	2.7	4.2
40		38.1	1.3	3.4
35		33.2	2.2	6.6

Taulukko 4. jatkuu
BETONIN PURISTUSLUJUUS, PORAKAPPALEET

Lujuus- luokka [MPa]	jakauma	keskiarvo [MPa]	hajonta [MPa]	variaatio- kerroin [%]
- 50	log.norm.	72.9	6.0	8.2
- 50	normaali	61.2	6.0	9.8
- 50	normaali	58.8	6.6	11.2
- 50	gamma	64.1	7.3	11.4
- 50	normaali	62.7	6.2	9.9
- 50	log.norm.	62.0	4.0	6.5
- 50	gamma	54.3	7.2	13.3
- 50	(norm.)	59.9	7.1	11.9
60	gamma	66.7	6.1	9.1
60	normaali	73.7	5.6	7.6

Mittapoikkeamien jakaumat oletetaan perinteisesti normaalijakautuneeksi, eikä edellisten tulosten perusteella tästä oletuksesta ole syytä poiketa. Mittapoikkeamien jakaumat tosin useassa otoksessa eivät tunnu kunnolla sopivan mihinkään jakaumaan. Tämä johtuu yleensä siitä, että jakauman ylä- ja alapää on katkaistu, eli laadunvalvonnan hylkäämät laatat eivät näy otoksessa. Toinen selvä syy "sopimattomuuteen" on nimellisarvojen painottuminen viereisten arvojen kustannuksella. Mittaustulokset usein frekvenssien perusteella tulkitaan siis mieluummin nimellisarvoksi tai mittausta on saatettu jättää tekemättä ja tulokseksi on annettu nimellisarvo. Joistain jakaumien frekvenssihistogrammeista on selvästi havaittavissa, että arvot ovat jakautuneet kahden keskiarvon ympärille, ts. koko otos koostuu tavallaan kahdesta vierekkäisestä jakaumasta. Kuitenkin yleensä parhaiten jakaumista mittapoikkeamille sopii normaalijakauma.

Mittapoikkeamien analyysin tuloksista on selvästi nähtävissä eroja dimensioiden välillä. Pienin variaatio dimensioista oli selvästi laatan leveydellä, jonka osalta variaatiokerroin jäi selvästi alle prosentin. Koska laatan leveyden voidaan katsoa olevan riippumaton siitä, minkätyyppistä laattaa valetaan, ei tässä tutkimuksessa ole leveydestä ole tehty analyysiä kuin yhden laattatyyppin otokselle. Käytännössä muihin dimensioihin verrattuna laatan leveyttä voitaisiin vaurioitumistodennäköisyyttä laskettaessa pitää vakiona.

Pieneksi variaatioltaan jäi myös laatan pituuden poikkeama. Tutkimuksen kannalta poikkeaman tilastolliset tunnusluvut eivät anna täysin oikeaa kuvaa laatan

jännevälin vaihtelun vaikutuksesta laatan luotettavuuteen, sillä ratkaiseva merkitys jänneväliin on tukipinnan leveydellä, joka on riippuvainen asennuksen tarkkuudesta. Tehdas- tai laattakohtaisia eroja ei pituuden poikkeaman osalta ollut havaittavissa.

Tietysti voitaisiin olettaa, että tietyn pituusmitan alittaessaan ontelolaatta "putoaa tuelta" eli pituuden vaikutus luotettavuuteen tällöin on aivan eri luokkaa kuin normaalin tilastollisen vaihtelun perusteella voidaan arvoida. Tämä oletus voitaneen jättää huomiotta sen vuoksi, että tämäntapainen virhe on jo luokaltaan karkea inhimillinen erhe, eikä se näinollen kuulu tämän tutkimuksen puitteisiin.

Laatan korkeuden variaatio oli myös erittäin pieni. Jokaisen tehtaan jokaisen laattatyypin variaatiokerroin jäi alle kahden prosentin. Sen sijaan keskiarvoissa oli havaittavissa pieniä eroja tehtaiden välillä. Jotkut valmistajat pyrkivät jäämään järjestelmällisesti alle nimellisarvon, kun muut tuottavat selvästi korkeahkoja laattoja.

Dimensioista vaikeemmin tuotantoprosessin hallittavissa oli tutkimuksen perusteella jännepunosten sijainti. Otokset sopivat yleensä huonosti vertailtuihin jakaumiin. Keskiarvot vaihtelivat noin 10 mm:n sisällä ja variaatiokertoimet olivat dimensioista suurimmat. Minkäänlaista yhteyttä ei löydy laattatyypin tai valmistajan ja keskiarvojen tai hajontojen välille, joten punosten asema tuntuu olevan kaikille valmistajille yhteinen ongelma.

Uuman yhden kannaksen paksuus tuntuu olevan yhtä otosta lukuunottamatta variaatioltaan kohtalaisen pieni. Huonoimmassa otoksessa ($V = 10.1 \%$) on frekvenssihistogrammissa selvästi havaittavissa painottuminen kahden arvon ympärille, joten joko otoksessa, mittaustavassa tai tuotannossa on järjestelmällinen virhe.

Ylä- ja alakannaksen paksuudet tuntuvat noudattavan nimellisarvoja kohtuullisesti, mutta hajonta on suurehko. Huonoimmassa otoksessa on havaittavissa sama vika kuin uuman yhden kannaksen osalta. Otos on samasta laattatyypistä, joten edellä mainitun systemaattisen virheen olemassaolo on erittäin todennäköistä.

Betonin puristuslujuuden tilastollisista ominaisuuksista on tehty tutkimuksia jo 1950-luvulla [Julian, 1956; Freudenthal, 1957]. Näiden tutkimusten perusteella betonin puristuslujuus noudattaa normaalijakaumaa korkeilla lujuusarvoilla ja logaritmista normaalijakaumaa matalammilla lujuuksilla. Ruotsalaisten tutkimusten mukaan

[Johnston, 1971] betonia voidaan pitää Weibull-jakautuneena, mikäli lujuus on alaspäin rajoitettu. Tutkimuksen mukaan tällaisen betonin jakaumayhteensopivuus onnistui parhaiten kuvaamalla puristuslujuuden koetuloksia keskiarvon alapuolella Weibull-jakaumalla ja yläpuolella normaalijakaumalla.

Tässä tutkimuksessa on betonille käytetty lähes kaikissa kalibrointipisteissä normaalijakaumaa. Tätä puolustaa se, että ontelolaattavalmistajat pitävät betonin puristuslujuuden suunnitteluarvoa korkeana tuotannollisista syistä. Lujuuden kehityksessä on määräävintä yleensä punosten laukaisuhetki. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ontelolaatan tulee saavuttaa valualustalla lujuusluokka K35 noin kuuden tunnin jälkeen valusta.

6.4 Korrelaatioiden määrittäminen

Korrelaatioiden määrittämiseen muuttujien välillä oli käytössä valmisohjelmisto, jonka avulla otoksille voitiin tehdä korrelaatioanalyysi, tai Spearmanin tai Kendallin [Hollander & Wolfe, 1973] järjestyskorrelaatioanalyysiä.

Korrelaatioanalyysi tuottaa mittarin muuttujien väliselle riippuvuudelle. Tuloksena saatavat korrelaatiokertoimet ovat lukuja -1 ja +1 välillä. Positiivinen arvo kertoo, että muuttujat varioivat samaan suuntaan ja riippumattomat muuttujat saavat kertoimen nolla.

Järjestyskorrelaatioanalyysit käyttävät vertailuun otoksista saatavia järjestyslukuja itse lukujen sijasta. Kendallin analyysi järjestää otoksen yhden muuttujan luvut pienimmästä suurimpaan ja sen jälkeen toisen muuttujan arvot vastaavasti ensimmäisen muuttujan järjestyksen mukaan. Lopulta lasketaan kuinka hyvin toisen muuttujan järjestysluvut seuraavat ensimmäisen muuttujan vastaavaa järjestystä. Spearmanin korrelaatiokertoimia laskettaessa jokaiselle muuttujalle tuotetaan järjestys- eli rankiluvut erikseen. Tämän jälkeen havaintojen rankiluvuista pareittain lasketaan erotus, tämä korotetaan toiseen potenssiin ja näistä erotuksien neliöstä muodostetaan summa ja summasta suhteellinen mitta kuvaamaan otosten eroavaisuutta. Lopullinen kerroin on skaalattu välille -1 - +1. Luvut tulkitaan vastaavasti kuin korrelaatioanalyyseissä.

Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen laskeminen tapahtuu periaatteessa tekemällä otokselle järjestysluvut ja suorittamalla näille tavallinen korrelaatioanalyysi.

Tässä tutkimuksessa korrelaatiokertoimien laskeminen on suoritettu vain yhden valmistajan laatan poikkileikkauksen dimensioiden mittaustuloksista. Tämä johtuu siitä, että muut valmistajat eivät tähän mennessä ole mitanneet kaikkia tässä tutkimuksessa käytössä olleita suureita (vrt. kuva 12). Korrelaatiokertoimia mittaustuloksista on taulukossa 5.

Tulokset osoittavat, että tietyillä laattatyypeillä on mitattujen suureiden välillä heikko korrelaatio, mutta laattatyypeittäin suoritettu vertailu paljastaa tulosten epävarmuuden; korrelaatiokertoimen arvo saattaa eri laattatyypeillä olla erimerkkinen. Koska tulokset ilmeisestikin riippuvat valukoneesta, tärytystavasta, käytettävästä betonimassasta ym. tekijöistä, on korrelaatiokerroinmatriisin käyttö vaurioitumistodennäköisyyttä laskettaessa kyseenalaista. Mikäli kuitenkin tulevaisuudessa valmistajat yleisesti ryhtyvät keräämään mittaustuloksia poikkileikkauksen dimensioista kuvan 12 laajuudessa, voidaan korrelaatiot sisällyttää laskentaan täydellisemmin ja dimensioiden välisiä riippuvuuksia voidaan tarkastella luotettavammin.

7 RAKENNEYHTÄLÖT

Luvussa 2 esitettiin kalibrointiprosessin kulun yhteydessä rakenneyhtälön merkitys ja perusmuuttujista selvitettävät ominaisuudet. Luvussa 6 laadunvalvonnan mittaustulosten analyysin perusteella voidaan kestävyysperusmuuttujien ominaisuuksille antaa vaaditut ominaisuudet rakenneyhtälöä varten. Kuormituksen perusmuuttujien ominaisuuksien valinnan osalta ei vastaavaa tilastollista analyysiä voida suorittaa kuin kestävyysparametreille. Toisin kuin kestävyys, kuormitus vaihtelee sekä ajan että paikan suhteen. Tämän takia täydelliset mallit kuormituksesta ovat mahdottomia jo puutteellisen tilastotiedon takia. Tässä tutkimuksessa on tyydytty hyvin yksinkertaisiin oletuksiin kuormituksen osalta.

7.1 Muuttujat

7.1.1 Kestävyysparametrit

Kestävyysparametrien ominaisuuksista voidaan luvussa 6 esitetyn analyysin tulok-
sista todeta, ettei mittojen keskiarvoille eikä hajonnoille voida olettaa tehdas- tai
valmistajakohtaisia eroja. Sen sijaan betonin puristuslujuuden keskiarvot poikkeavat
toisistaan jo merkittävämmiin. Tämä ilmeisesti on kuitenkin valmistusprosessissa
tehtävä tietoinen valinta. Tätä tukee se, että hajonnan arvo ei juurikaan muutu
vaikka keskiarvo muuttuisi. Hajonta on myös lähes sama käytettäessä lähtöarvona
korkeampaa lujuusluokkaa valmistuksessa. Näinollen on laskennassa oletettu, että
samoja arvoja voidaan käyttää kaikille tehtailla.

Laskennan yhteydessä törmättiin korkeiden ja muotoiltujen laattojen
poikkileikkauksen geometrian aiheuttamaan ongelmaan. Poikkileikkauksen alan,
jäyhyysmomentin ja staattisen momentin lausekkeista muodostui laadunvalvonnasta
saatavien tulosten avulla lausuttuna niin epälineaarisia, ettei simulointia suorittava
laskentaohjelmisto pystynyt tuottamaan kunnollista arviota vaurioitu-
mistodennäköisyydelle. Tämän takia korkeille laatoille perusmuuttujiksi on valittu
suoraan em. poikkileikkauksen geometriset suuret. Ne on laskettu VTT:ssä kehi-
tetyllä ontelolaattojen mitoitusohjelmistolla [Pajari, 1989], ja niissä on huomioitu
staattista momenttia laskettaessa myös raudoituksen vaikutus, mitä ei matalilla
laatoilla ole tehty. Hajonnaksi poikkileikkaussuureille oletettiin 5 %.

Sama ongelma syntyi myös laskettaessa uuman leikkausvetomurron vaurioitumistodennäköisyyttä. Ongelmasta selvittiin korvaamalla rakenneyhtälöön betonin puristuslujuuden avulla laskettu vetolujuuden lauseke suoraan vetolujuuden arvolla. Variaatiokertoimeksi oletettiin sama kuin betonin puristuslujuudella. Tässä on oletettu, että vetolujuuden hajontaa pienentää uumien toimiminen sarjassa, ts. jos yksi uuman kannaksista murtuu, ei koko uuma vielä rikkoudu, vaan jäljelle jäävät uumat pystyvät kantamaan kuorman. Taulukossa 6 on esitetty eri murtotapojen rakenneyhtälöiden kestävyys ja kuormituksen perusmuuttujat. Niiden jakaumatyypit, keskiarvot ja hajonnat on esitetty laskennan tulostusten yhteydessä kalibrointipisteittäin liitteissä 3.

Taulukko 6. Rakenneyhtälöt yleisessä muodossa laattatyypeittäin.

	Kestävyys parametrit	Kuormitus- parametrit
Taivutusvetomurto, kaikki laatat:	b, e, h, h_{yk}, K	l, b, g, q_1, q_2
Uuman leikkaus- vetomurto, 150 - 265 mm laatat:	$b, h, h_1, h_2,$ b_w, f_{ct}	l, b, g, q_1, q_2
Uuman leikkaus- vetomurto, 400 mm laatat	$A, I, S, b_w, h,$ f_{ct}	l, b, g, q_1, q_2
Halkeamismurto, 150 - 265 mm laatat:	$b, e, h, h_1, h_2,$ K, δ	l, b, g, q_1, q_2
Halkeamismurto, 400 mm laatat:	$A, I, b, h, e,$ K, δ	l, b, g, q_1, q_2
Ankkurointimurto, kaikki laatat:	b, e, h, h_2, K	l, b, g, q_1, q_2
<p>A on poikkileikkauksen pinta-ala, I poikkileikkauksen jäyhyysmomentti, S poikkileikkauksen staattinen momentti, δ kerroin, jolla otetaan huomioon vetolujuuden ja taivutusvetolujuuden suhde, f_{ct} betonin vetolujuus ja muut symbolit ovat samoja kuin kuvassa 12.</p>		

Betonin vetolujuuden f_{ct} laskemisessa on oletettu Suomen Rakentamismääräyskokoelman kaavan (15) antavan vetolujuuden 5 %:n fraktiiliarvon.

$$f_{ct} = 0,2 \cdot K^{2/3} \quad (15)$$

Laskennassa on huomioitu tätä vaikutusta korottamalla kaavan edessä oleva kerroin 0,25:een.

7.1.2 Kuormitusparametrit

Kuormituksen mallintamiselle ja kuormitusparametrien arvoille on annettu ohjeita esim. lähteessä [NKB, 1987]. Siinä kuormat määritellään syynä, joka aiheuttaa muutoksia rakenteen jännityksiin, venymiin, kantavuuteen tai jäykkyyteen. Kuormat voidaan ryhmitellä sen mukaan, miten ne muuttuvat ajan tai paikan funktiona.

Muutokset ajan funktiona määrittelevät ryhmittelyn pysyviin, muuttuviin ja onnettomuuskuormiin. Pysyvien kuormien oletetaan pysyvän vakiona tai muuttuvan vain hyvin vähän ajan mukana. Tilastollinen jakaumafunktio edustaan tällöin vaihtelua samankaltaisten rakenneosien välillä. Muuttuvilla kuormilla tilastollinen jakaumafunktio taas kuvaa samanlaisessa käytössä olevien rakenteiden kuormien vaihtelua ajan suhteen. Onnettomuuskuorma esiintyy onnettomuus- tai muussa odottamattomassa tilanteessa.

Mikäli kuormaa jaotellaan paikan muutoksen mukaan, puhutaan kiinteästä ja liikkuvasta kuormasta. Kiinteä kuorma on kaikkialla rakenteessa määritetty, jos sen arvo on määritetty yhdessä pisteessä, kun taas liikkuva kuorma saa vapaasti arvoja nollan ja maksiminsa väliltä tarkastelupisteessä.

Tässä tutkimuksessa on kuormitus jaettu ainoastaan ajan mukaan tehtävän jaon perusteella. Pysyvä kuorma muodostuu rakenteen omasta painosta ja muusta pysyvästä kuormasta. Muuttuvan kuorman on oletettu -yhtä kalibrointipistettä lukuunottamatta- vaikuttavan yksin. Kuorman ei aina ole oletettu edustavan jotain varsinaista normin määrittelemää kuormatyyppiä, vaan kuormalle on valittu jokin keskiarvo mitoituskäyrästön fraktiiliarvon ja jakaumatyyppin avulla. Kuorman variaatiokertoimen arvo on yleisesti 0,4, jota suurempia arvoja ei kirjallisuudessa ole juurikaan esitetty. Pysyvän kuorman on oletettu olevan normaalijakautunut ja muuttuvalle kuormalle on oletettu jakaumatyyppiä Gumbel-, logaritminen normaali-, tasa-, exponentiaalinen tai gammajakauma. Näillä on pyritty kuvaamaan karkealla tasolla ontelolaatoilla usein esiintyviä lumi-, varasto- liikenne- tai henkilökuormia.

7.2 Rakenneyhtälöiden johtaminen mitoitusyhtälöistä

Rakenneyhtälön (kaava 1) kirjoittaminen mitoitusyhtälön avulla on periaatteessa yksinkertainen toimenpide: Mitoitusyhtälöstä poistetaan "varmuudet" ja muuttujiksi valitaan suureet, joille oletetaan tilastollinen variaatio.

"Varmuuksien poistamisella" tarkoitetaan tässä osavarmuuskertoimien jättämistä pois sekä karakterististen arvojen muuttamista keskiarvoiksi, joten rakenneyhtälö pyrkii kuvaamaan mahdollisimman hyvin todellista rakenteessa vallitsevaa rasisitusten ja kestävyuden välistä erotusta.

Tässä tutkimuksessa rakenneyhtälö on kirjoitettu suoraan vaurioitumistodennäköisyyden laskentaohjelmistoon yhtenä aliohjelma. Rakenneyhtälön perusmuuttujien arvot syötetään ohjelmistolle erillisen syöttötiedoston kautta. Rakenneyhtälössä esiintyvät vakiot, kuten punosten lukumäärä ja esijännitys kirjoitetaan aliohjelmaan vakioina. Tämän jälkeen aliohjelma käännetään ja linkitetään pääohjelmaan ja näin ohjelmisto on valmis käytettäväksi halutuilla perusmuuttujilla. Liitteissä 2 on esitetty jokaisen murtotavan aliohjelmalistaus.

Edellinen menettelytapa kuitenkin monimutkaistuu jos mitoitusyhtälö ei ole kaavan (2) muodossa, eli kapasiteetin ja kuormien vaikutusten erotuksia voidaan suoraan verrata nollaan. Useimmiten tämä on normaali käytäntö, mutta tässä tutkimuksessa ankkurointimurron yhteydessä törmättiin tilanteeseen, jossa ennen varsinaista rakenneyhtälön kirjoittamista joudutaan etsimään laatan poikkileikkaus, jossa rakenneyhtälö "tulee voimaan", ts. jossa kiertymämallissa halkemarajatilasta siirrytään ankkuroinnin rajatilaan. Vajaan ankkuroinnin alueella suurempi kapasiteetin arvoista tulee murron kannalta määräväksi. Tämä etsintä täytyy suorittaa käyttämällä laskennassa muuttujien keskiarvoja, minkä jälkeen voidaan kirjoittaa itse rakenneyhtälö ja suorittaa simulointi ja vaurioitumistodennäköisyyden laskenta. Selvää on, että tämä menettely huonontaa arviota vaurioitumistodennäköisyydestä, sisältyhän nyt poikkileikkauksen paikan arvioon jo oma epävarmuutensa. Tilannetta yritettiin tutkimuksessa korjata myös siten, että rakenneyhtälöön syötettiin ehto, jossa laskennan arvoiksi otettiin suurempi halkeamis- tai ankkurointikapasiteetista. Ehdon sisällyttämien oli yksinkertaista käytetyn tietokonekielen puolesta, mutta tällöin kuitenkin simulointi vaikeutui ja lopputuloksen virhe kasvoi liian suureksi, joten jokaisessa kalibrointipisteessä jouduttiin manuaalisesti tarkastelemaan halkeamis- ja ankkurointikapasiteetin suhdetta eri poikkileikkauksissa.

8 NORMIN MUKAISEN LUOTETTAVUUSTASON MÄÄRITTÄMINEN

8.1 Vaurioitumistodennäköisyydet ja luotettavuusindeksit kalibrointipisteissä

Luotettavuustason arvioimiseksi on kalibrointipisteitä laskettu 28 kappaletta. Nämä on pyritty jakamaan laatoittain ja murtotavoittain siten, etteivät ne ole ristiriidassa kokeellisen tutkimuksen [Pajari, 1989] kanssa. Kokeista on selvästi nähtävissä taivutusvetomurron yleisyys lähes kaikilla laatoilla, uuman leikkausvetomurron painottuminen korkeisiin, lyhyisiin ja runsaasti kuormitettuihin ja raudotettuihin laattoihin sekä halkeamismurron painottumisen vähän raudoitettuihin laattoihin. Taulukossa 7 on esitetty kalibrointipisteiden jakaantuminen laattatyypeittäin ja murtotavoittain. Lisäksi taulukossa on lueteltu kalibrointipisteiden hyötykuormat ja jännevälit sekä esijännitys.

Taulukko 7. Kalibrointipisteiden ominaisuuksia

PISTE	TYYPPI	MURTOT.	PUN.LKM.	Hyötyk. [kN/m ²]	L [m]	ESIJÄNN [MPa]
1	V8	TAIVUTUS	4	3.0	5.62	900
2	V5	TAIVUTUS	6	2.0	9.0	900
3	P05	TAIVUTUS	6	4.3	10.0	1200
4	P8	TAIVUTUS	7	2.5	7.5	1200
5	P8	TAIVUTUS	7	2.5	7.5	1200
6	V4	TAIVUTUS	9	6.0	15.0	1200

Taulukko 7, jatkuu						
PISTE	TYYPPI	MURTOT.	PUN.LKM.	Hyötyk. [kN/m ²]	L [m]	ESIJÄNN [MPa]
7	V4	TAIVUTUS	13	2.0	20.0	1100
8	V4	TAIVUTUS	5	6.0	10.0	1100
9	L06	TAIVUTUS	7	2.0	11.0	900
10	V5	TAIVUTUS	6	4.2	10.0	1100
11	P4	TAIVUTUS	8	8.0	11.4	1200
12	V8	LEIKK.VM.	9	9.0	5.0	1100
13	V5	LEIKK.VM.	8	13.0	7.5	1100
14	L05	LEIKK.VM.	10	15.0	7.7	1100
15	V3	LEIKK.VM.	12	20.0	9.0	1100
16	V3	LEIKK.VM.	8	19.0	8.0	1100
17	V3	LEIKK.VM.	10	29.0	6.6	1150
18	V3	LEIKK.VM.	10	29.0	6.6	1150
19	V3	LEIKK.VM.	10	20.5	8.5	1100
20	P08	HALKEILU	7	3.0	7.0	900
21	V6	HALKEILU	4	4.0	5.7	900
22	L05	HALKEILU	4	8.0	6.75	1100
23	L05	HALKEILU	4	8.0	6.75	1100
24	V3	HALKEILU	6	6.1	11.0	1100
25	V3	HALKEILU	6	2.3	14.0	1100
26	V5	ANKKUROINTI	8	3.8	9.1	900
27	L06	ANKKUROINTI	5	6.0	7.5	1100
28	P08	ANKKUROINTI	7	4.0	6.5	900

Kun nyt rakenneyhtälöt, muuttujien ja vakioiden arvot on määrätty, saadaan kalibrointipisteille vaurioitumistodennäköisyydet. Laskentaohjelmisto antaa myös muuta informaatiota laskennan kulusta, kuten suunnittelupisteen koordinaatit, simuloinnin ylä- ja alarajat, herkkyykskertoimet sekä virhearvion tulokselle. Tarkempi tulostus kalibrointipisteittäin tehdyistä tietokoneajoista on esitetty liitteissä 3. Taulukossa 8 on esitetty kalibrointipisteiden kokonaiskuorman ja jännevälin suhde, pysyvän ja muuttuvan kuorman suhde sekä vaurioitumistodennäköisyydet sekä ehdosta

$$\Phi(-\beta) = P_f \quad (17)$$

laskettu luotettavuusindeksi β ,

missä $\Phi()$ on normaalijakauman tiheysfunktio.

Taulukko 8. Luotettavuusindeksit kalibrointipisteittäin

PISTE	MURTOTAPA	P/L	P_d/P_l	β
1	TAIVUTUS	0.74	2.61	5.2
2	TAIVUTUS	0.53	3.59	6.2
3	TAIVUTUS	0.74	3.72	6.5
4	TAIVUTUS	0.47	1.32	4.5
5	TAIVUTUS	0.47	1.32	4.6
6	TAIVUTUS	0.53	7.00	5.2
7	TAIVUTUS	0.26	3.30	6.8
8	TAIVUTUS	0.77	4.24	5.0
9	TAIVUTUS	0.35	2.45	5.8
10	TAIVUTUS	0.61	1.77	7.1
11	TAIVUTUS	0.86	2.00	7.1
12	LEIKK.VETOM.	1.29	0.33	5.7
13	LEIKK.VETOM.	1.61	0.65	6.4
14	LEIKK.VETOM.	2.40	0.38	5.1
15	LEIKK.VETOM.	1.89	1.13	6.0
16	LEIKK.VETOM.	1.94	0.63	6.2
17	LEIKK.VETOM.	3.5	0.63	5.1
18	LEIKK.VETOM.	3.5	0.63	5.7
19	LEIKK.VETOM.	2.2	0.46	5.1
20	HALKEILU	0.61	3.05	5.2
21	HALKEILU	0.99	4.38	5.8
22	HALKEILU	1.16	0.90	4.8
23	HALKEILU	1.16	0.90	4.2
24	HALKEILU	0.75	2.77	4.1
25	HALKEILU	0.40	4.29	4.7
26	ANKKUROINTI	0.66	4.76	5.7
27	ANKKUROINTI	0.80	0.84	5.2
28	ANKKUROINTI	0.78	3.63	5.9

8.2 Rakenteilta vaadittavan luotettavuustason valinta

Puhuttaessa vaadittavasta luotettavuustasosta, on muistettava, että millä tahansa menetelmällä lasketut vaurioitumistodennäköisyydet ja varmuusindeksit ovat nimellisiä ja ne on käsitettävä "muodollisena" vaurion esiintymisen mittarina, "uskomuksen asteena" [Ditlevsen, 1983].

Kuitenkin vaaditun luotettavuustason ja vaurioitumistodennäköisyyden tavoitearvon määrittämiseksi on puhtaasti empiiriseltä pohjalta luotu menetelmiä, joilla pyritään arvioimaan hyväksyttävää tasoa.

CIRIA [Construction Industry Research and Information Association, 1977] ehdotti

$$P_{ft} = 10^{-4} \cdot \mu_s \cdot T \cdot n^{-1} \quad (17)$$

missä T on rakenteen käyttöikä
 n on rakennuksessa tai rakenteen vaikutusalueella olevien ihmisten lukumäärä
 ja μ_s on ns. sosiaalinen kerroin, jolle voidaan antaa arvot taulukon 6 mukaan

Taulukko 9. Sosiaalisen kertoimen määrittäminen

Rakenteen käytön luonne	μ_s
Julkiset kokoontumistilat, padot	0.005
Toimistot, teollisuustilat	0.05
Sillat	0.5
Off-shore -rakenteet	5

Allen (1981) on ehdottanut hieman poikkeavaa määrittäystapaa:

$$P_{ft} = 10^{-5} \cdot A \cdot W^{-1} \cdot T \cdot n^{1/2} \quad (18)$$

missä T ja n saavat saman merkityksen kuin kaavassa (18),
 A on ns. toimintakerroin ja
 W ns. varoitustekijä.

Edellä esitetyssä kaavassa toimintakertoimen ja varoitustekijän arvot määräytyvät toiminnan ja rakenteen murtumisen luonteen mukaan.

Erilaisilla muuttujien oletusarvoilla saadaan edellisistä kaavoista arvoja 10^{-4} :sta pienempään suuntaan. Kuitenkin ilman tarkkoja tietoja suuntaa antavankin arvion antaminen on kovin kyseenalaista, koska luotettavuuden tavoitearvo on myös riipuvainen luotettavuuden tunnuslukuja laskettaessa käytettävän menetelmän tarkkuudesta. Tarkemmalla menetelmällä päästään aina luonnollisesti vaatimustasossa alaspäin.

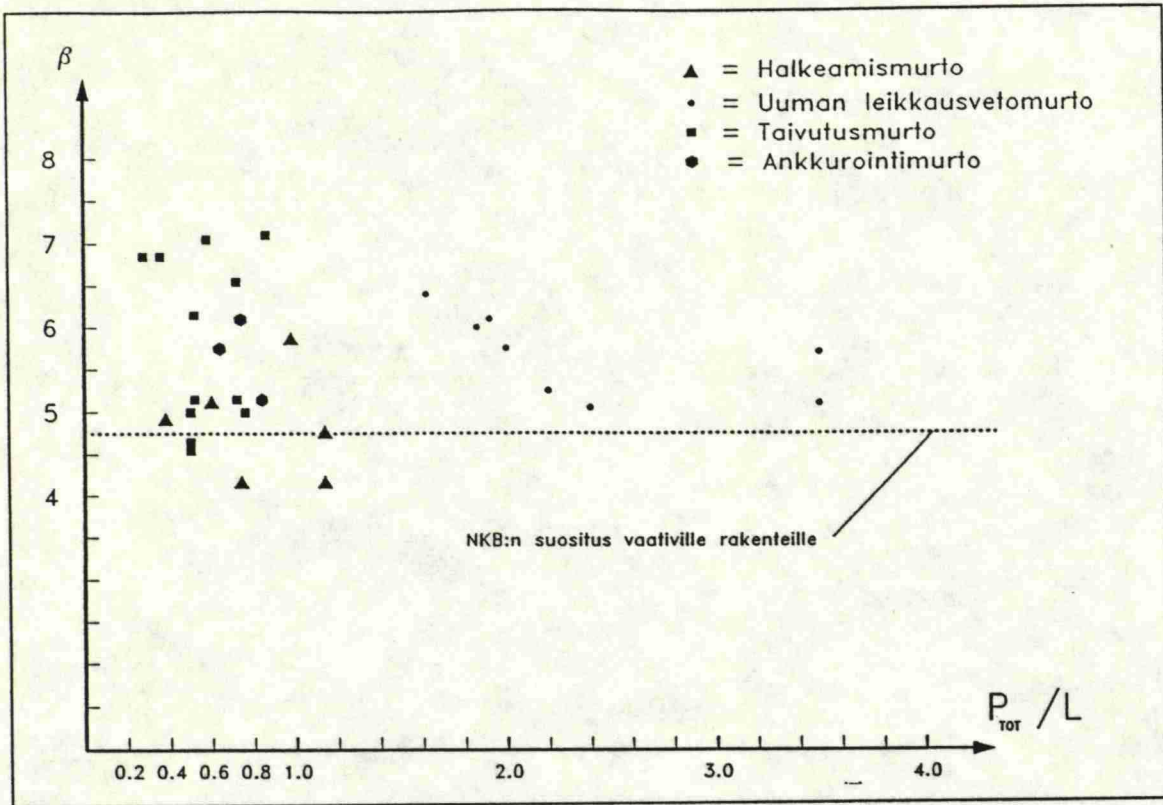
Tässä tutkimuksessa on kuitenkin vaatimustasona käytetty Pohjoismaisen rakentamismääräyskomitean [NKB 1987] suositusta *vaativalle* rakenneluokalle ($P_f = 10^{-6}$). Rakenneluokkiin jako on NKB:n mukaan taulukon 8 mukainen.

Taulukko 10. Rakenneluokat [NKB, 1987]

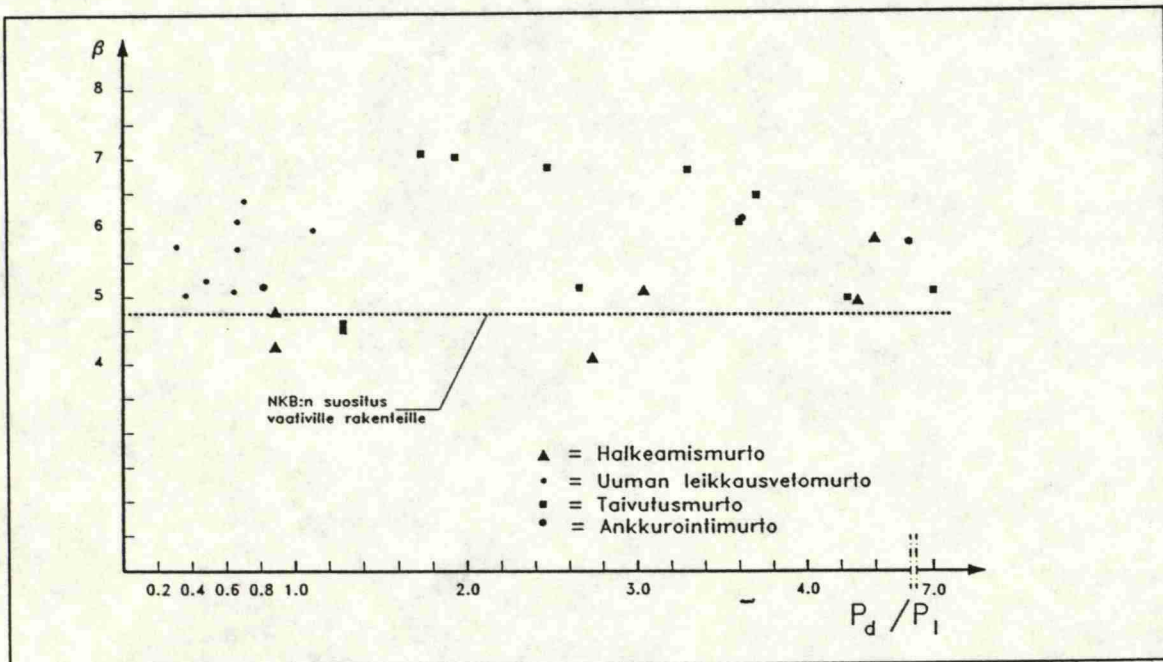
Vaurion seuraus	Rakenneluokka
Vähäisiä henkilövahinkoja ja merkityksettömät yhteiskunnalliset menetykset	Lievä rakenneluokka
Joitakin henkilövahinkoja tai huomattavia yhteiskunnallisia menetyksiä	Normaali rakenneluokka
Suuria henkilövahinkoja tai hyvin huomattavia yhteiskunnallisia menetyksiä	Vaativa rakenneluokka

8.3 Normin mukainen luotettavuustaso

Lasketuista luotettavuusindekseistä nähdään lukuarvojen asettuvan lähes kaikissa tapauksissa yli NKB:n suositusarvon. Em. suositus on vaativille kantaville rakenteille luotettavuusindeksin osalta $\beta = 4,75$, joka vastaa vaurioitumistodennäköisyyttä 10^{-6} . Kuitenkin luotettavuusindeksi on erittäin herkkä suure muuttujien jakaumatyyppin ja hajonnan muutoksille. Niinpä muuttuva kuorma, jonka variaatiokerroin on oletettu laskennassa suurimmaksi ($\approx 0,4$) ja jonka jakaumatyyppiä on vaihdeltu eniten laskennassa, saattaa vaikuttaa vaurioitumistodennäköisyyden arvoon jopa dekadeilla. Tämän vuoksi luotettavuustason arvioimiseksi täytyy tarkastella koko kalibrointipisteiden muodostamaa pistejoukkoa kokonaisuutena ja yksittäisten, "vaarallisimpien" pisteiden luotettavuusindeksejä. Kuvissa 18 ja 19 on esitetty kalibrointipisteiden luotettavuusindeksit vaatimustasoon nähden.



Kuva 18. Luotettavuusindeksit kuormituksen ja jännevälin suhteen mukaan.



Kuva 19. Luotettavuusindeksit pysyvän ja muuttuvan kuorman suhteen mukaan.

Luotettavuusindeksien arvot antavat nyt selvästi aiheen lähteä kalibroinnissa pienentämään osavarmuuslukua.

9 OSAVARMUUSLUVUN KALIBROINTI

9.1 Kalibrointi kapasiteettia pienetämällä

9.1.1 Mitoitus pienennetyllä kapasiteetilla

Normien betonin materiaalin osavarmuusluvun arvoa ensimmäisen luokan betonirakenteille pienennettiin tutkimuksessa arvosta 1,35 arvoon 1,30. Pienentäminen perustuu täysin arvioon, ja pienentämisen vaikutus luotettavuustasoon on nyt tutkittava mitoittamalla rakenteet uudelleen ja laskemalla luotettavuusindeksit jokaisessa kalibrointipisteessä uudelleen uusilla kestävyysparametrien arvoilla.

Uuden osavarmuuskertoimen käytön vaikutusta voidaan tarkastella betonin lujuusluokkavaatimuksen pienentämisellä. Mitoitusta lähdettiin kokeilemaan lujuusluokilla K40 ja K45. Mitoittamiseen käytettiin LEKA -ohjelmistoa [Pajari, 1989] ja tulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukosta voidaan lukea, että kapasiteettivaatimus on täytynyt jokaisessa pisteessä pienemmällä betonin lujuusluokalla. Joissakin pisteissä kapasiteettivaatimus on täytynyt selvemmin kuin toisissa. Huomio tässä kiinnittyy erityisesti uuman leikkausvetomurtoon. Pienentynyt kapasiteetin mitoitusarvo vaikuttaa oletettuun rakenteen betonin lujuuden keskiarvoon ja tältä pohjalta voidaan lähteä arvioimaan uutta luotettavuustasoa.

Taulukko 9: Mitoitus "uudella normilla"

Kalib. piste	Laatta- tyyppi	Kapasi- teetti- vaatimus [kN/m ²]	Lujuus- luokka	Kapa- siteet- ti KT. [kN/m ²]	Kapa- siteet- ti MT. [kN/m ²]	Kapa- siteet- ti. UU [kN/m ²]	Kapa- siteetti KM [kN/m ²]
1	V8	3.0	K40	6.24	6.89	10.68	7.15
2	V5	2.0	K40	3.43	3.61	8.52	11.67
3	P05	4.3	K40	5.92	6.99	9.22	19.31
4	P8	2.5	K40	3.25	3.34	9.66	10.32
5	P8	2.5	K40	3.25	3.34	9.66	10.32
6	V4	6.0	K40	5.31	6.78	9.68	25.50
7	V4	2.0	K40	2.74	3.68	6.20	24.00
8	V4	6.0	K40	10.28	10.11	15.1	22.39
9	L06	2.0	K40	2.97	3.77	5.42	11.01
10	V5	4.2	K40	5.78	6.27	8.24	17.17
11	P4	8.0	K40	11.01	12.85	13.85	32.32
12	V8	9.0	K40	10.97	12.93	13.33	19.48
13	V5	13.0	K45	16.82	13.46	13.46	29.82
14	L05	14.6	K45	18.53	14.66	14.66	40.33
15	V3	20.0	K45	27.75	20.60	20.60	60.68
16	V3	19.0	K40	26.37	19.92	19.92	44.12
17	V3	29.0	K45	49.70	29.07	29.07	75.55
18	V3	29.0	K45	49.70	29.07	29.07	75.55
19	V3	20.5	K45	28.83	20.64	20.64	49.56
20	P08	3.0	K40	3.02	4.56	11.09	10.81
21	V6	4.0	K40	6.57	6.57	12.84	10.97
22	L05	8.0	K40	12.05	10.79	12.96	17.41
23	L05	8.0	K40	12.05	10.79	12.96	17.41
24	V3	6.1	K40	9.44	9.42	13.16	24.37
25	V3	2.3	K40	4.06	4.16	8.99	17.46
26	P08	4.0	K40	5.80	6.14	10.71	21.05
27	L06	6.0	K40	6.87	7.70	8.82	14.54
28	V5	3.8	K40	3.80	5.79	12.50	11.41

KT = käyttötilassa, MT = murtotilassa (yleensä), UU = uuman leikkauvetomurrossa,
KM = kiertymämallin mukaan.

9.1.2 Uusi luotettavuustaso ja vertaaminen haluttuun tasoon

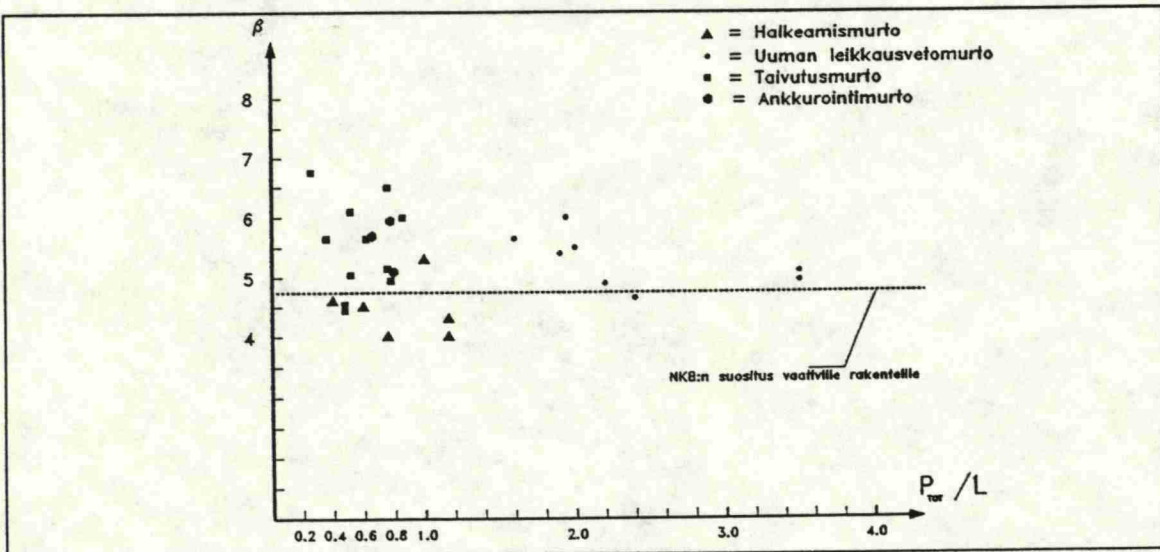
Uuden luotettavuustason arvioimiseksi on perusmuuttujien ominaisuuksissa tehtävä muutoksia. Perusmuuttujista ei luonnollisestikaan ole järkevää muuttaa muita kuin betonin puristuslujuuden ominaisuuksia. Koska nyt mitoitettaessa uudella osavarmuuskertoimella päästiin kahta lujuusluokkaa pienempää lähtöarvoon, voidaan olettaa puristuslujuuden keskiarvon pienenevän samassa verran. Uuden luotettavuustason laskennassa arvioitiin betonille puristuslujuudeksi 50 MPa entisen 60 MPa:n sijasta.

Seuraava vaihe kalibrointiprosessissa oli vaurioitumistodennäköisyyksien laskenta uusilla betonin lujuusominaisuuksilla. Muutosta rakenneyhtälöihin tai muihin laskennan oletuksiin ei synny, joten laskennan tämä vaihe oli varsin yksinkertainen suorittaa. Tuloksena saatiin kalibrointipisteiden uudet vaurioitumistodennäköisyydet ja niistä lasketut luotettavuusindeksit ja ne on esitetty taulukossa 10. Liitteessä 4 on esitetty kalibrointipisteiden muutetut syöttötiedot ja vastaavat tulokset vaurioitumistodennäköisyyden osalta.

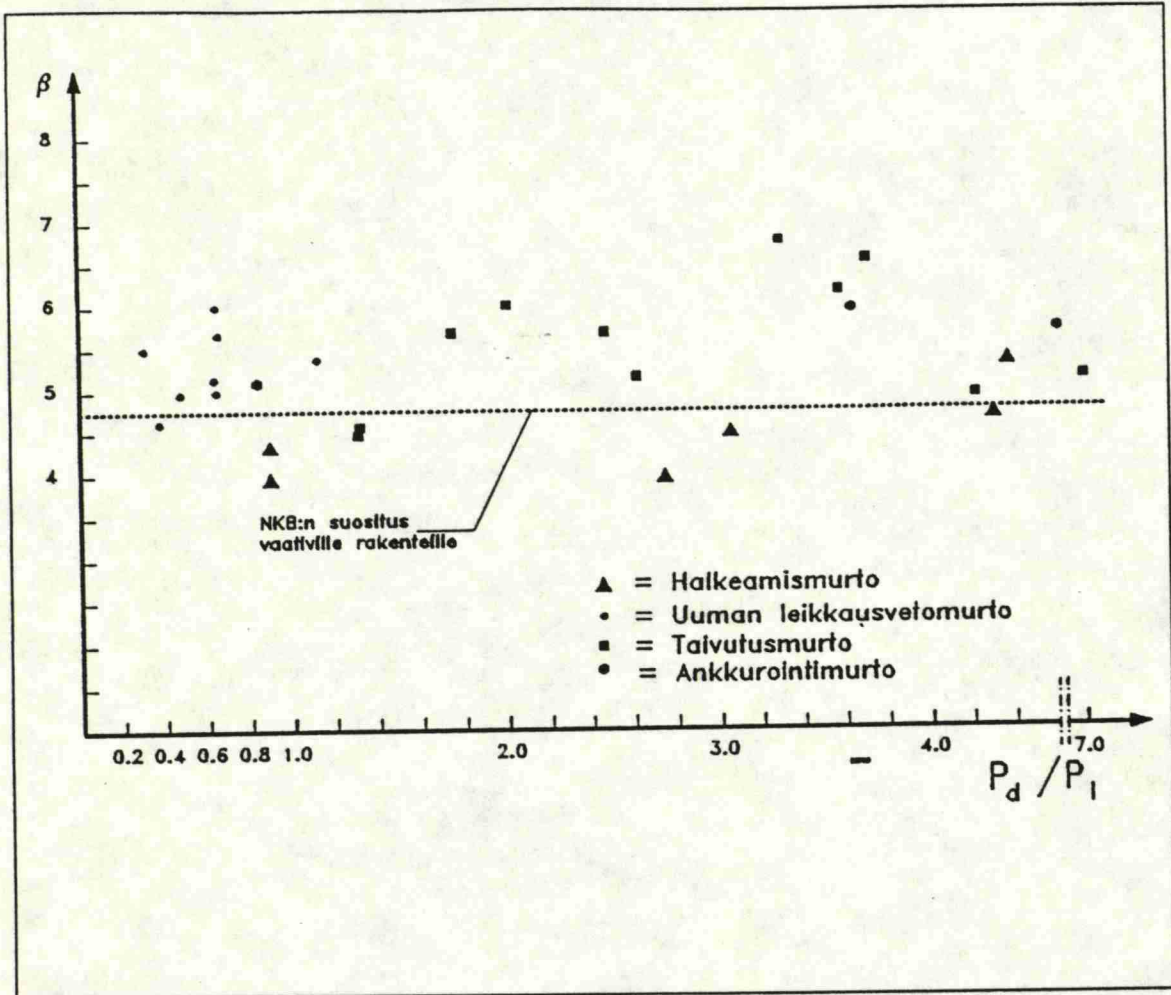
Huomattavin muutos normin mukaiseen luotettavuustasoon on tapahtunut uuman leikkausveto- ja halkeamismurrossa kun taas taivutusveto- ja ankkurointimurron arvot eivät ole juurikaan muuttuneet. Syynä tähän on betonin lujuuden suurempi vaikutus kapasiteettiin edellisissä murtomekanismeissa kuin jälkimmäisissä. Kuvissa 20 ja 21 on kuvattu uudet luotettavuusindeksit vastaavaan tapaan kuin kuvissa 19 ja 20.

Taulukko 10. Uuden osavarmuusluvun mukaiset luotettavuusindeksit.

PISTE	MURTOTAPA	P/L	P_d/P_1	β
1	TAIVUTUS	0.74	2.61	5.2
2	TAIVUTUS	0.53	3.59	6.1
3	TAIVUTUS	0.74	3.72	6.5
4	TAIVUTUS	0.47	1.32	4.5
5	TAIVUTUS	0.47	1.32	4.5
6	TAIVUTUS	0.53	7.00	5.1
7	TAIVUTUS	0.26	3.30	6.7
8	TAIVUTUS	0.77	4.24	4.9
9	TAIVUTUS	0.35	2.45	5.7
10	TAIVUTUS	0.61	1.77	5.7
11	TAIVUTUS	0.86	2.00	5.7
12	LEIKK.VETOM.	1.29	0.33	5.5
13	LEIKK.VETOM.	1.61	0.65	5.7
14	LEIKK.VETOM.	2.40	0.38	4.7
15	LEIKK.VETOM.	1.89	1.13	5.4
16	LEIKK.VETOM.	1.94	0.63	6.0
17	LEIKK.VETOM.	3.50	0.63	4.9
18	LEIKK.VETOM.	3.50	0.63	5.1
19	LEIKK.VETOM.	2.20	0.46	4.9
20	HALKEAMINEN	0.61	3.05	4.5
21	HALKEAMINEN	0.99	4.38	5.3
22	HALKEAMINEN	1.16	0.90	4.3
23	HALKEAMINEN	1.16	0.90	4.0
24	HALKEAMINEN	0.75	2.77	4.0
25	HALKEAMINEN	0.40	4.29	4.6
26	ANKKUROINTI	0.66	4.76	5.7
27	ANKKUROINTI	0.80	0.84	5.1
28	ANKKUROINTI	0.78	3.63	5.9



Kuva 20. "Uuden normin" luotettavuusindeksit kuormituksen ja jännevälin suhteen mukaan.



Kuva 20. Uuden normin luotettavuusindeksit pysyvän ja muuttuvan kuorman suhteen mukaan.

Vanhan ja uuden osavarmuuskertoimen mukaisten luotettavuustasojen vertailemiseksi voidaan nyt käyttää sopivaa neliösummalauseketta. Melchers (1987) on esittänyt kaavan 19 mukaista menettelyä.

$$S = \sum_{i=1}^n (\beta_T - \beta_i)^2 \cdot w_i \quad (19)$$

missä n on kalibrointipisteiden lukumäärä,
 β_T tavoitearvo luotettavuusindeksille,
 β_i luotettavuusindeksin arvo kalibrointi-
 brointipisteessä i ja

w_i ns. painotuskerroin, jolle tässä tutkimuksessa on käytetty seuraavia arvoja:

$5.60 < \beta_i :$	$w_i = 0.05 \cdot 1/n$
$4.27 < \beta_i < 5.60 :$	$w_i = 0.35 \cdot 1/n$
$\beta_i < 4.27 :$	$w_i = 0.60 \cdot 1/n$

Painotuskerroin siis kasvattaa neliösumman arvoa sitä enemmän, mitä suuremmaksi vaurioitumistodennäköisyys kasvaa. Parempi tapa olisi painottaa eri kalibrointipisteiden luotettavuusindeksien arvoja sen mukaan, miten usein ne käytännössä esiintyvät. Koska nyt ei laattojen käytöstä ole käytettävissä tarkempaa tietoa, on tyydyttävä menettelemään "varman päälle".

Nyt voidaan luotettavuustasoja vertailla kaavan (19) summalla. Nykyiselle summaksi saadaan 0.0992 kun uudella normilla on 0.0883. Tästä voidaan päätellä, että uuden osavarmuusluvun mukainen taso ei ainakaan ole "kauempana" tavoitetasosta kuin nykyisen osavarmuusluvun mukainen.

9.2 Kalibrointi kuormaa kasvattamalla

9.2.1 Mitoitus suuremmilla kuormilla

Valmistajien kannalta lujuusluokan pienentäminen ei käytännössä ole yhtä edullista kuin se, että säilytetään jo hyvin hallinassa oleva lujuusluokka tuotannossa ja korotetaan kuormien arvoja. Tämä voidaan toteuttaa joko mitoittamalla laatat uudelleen edellisen luvun kalibroidulla osavarmuuskertoimen arvolla ja säilyttämällä lujuusluokka entisellään, jolloin laatalle sallittavien kuormien arvot kasvavat tai koko kalibrointi voidaan suorittaa valitsemalla uusi osavarmuusluvun arvo, mitoittamalla laatat uudelleen uudella kuorman laskenta-arvolla ja laskemalla sen jälkeen luotettavuustaso. Kalibrointia kokeiltiin kasvattamalla kuorman suunnitteluarvoja muutamissa pisteissä. Osavarmuuslukua pienennettiin arvosta 1,35 arvoon 1,25. Mitoittamisessa on lujuusluokkina käytetty arvoja K50 ja K55 eli 10 MPa korkeampia arvoja kuin kapasiteettia pienentämällä kalibroitaessa. Tulokset on esitetty vastaavaan tapaan kuten kohdassa 9.1.1 taulukossa 11.

Taulukko 11. Mitoitus uudella osavarmuuskertoimella kuorman arvoja suurentamalla

Kalib. piste	Laatta- tyyppi	Uusi ka- pasi- teetti- vaatimus [kN/m ²]	Lujuus- luokka	Kapa- siteet- ti KT. [kN/m ²]	Kapa- siteet- ti MT. [kN/m ²]	Kapa- siteet- ti. UU [kN/m ²]	Kapa- siteetti KM [kN/m ²]
1	V8	3.5	50	3.89	4.18	13.02	8.29
6	V4	6.4	50	5.76	7.03	12.11	26.58
8	V4	6.4	50	11.11	10.26	18.60	24.03
15	V3	24.0	55	29.47	24.67	24.67	63.33
17	V3	32.0	50	51.25	32.51	32.51	77.43
20	P08	3.3	50	3.33	4.75	13.61	11.29
25	V3	2.53	50	4.48	4.27	11.30	18.63
27	L06	6.6	50	7.36	8.00	10.89	16.12

KT = käyttötilassa, MT = murtotilassa (yleensä), UU = uuman leikkausvetomurrossa,
KM = kiertymämallin mukaan.

9.2.2 Uusi luotettavuustaso ja vertaaminen haluttuun tasoon

Uutta luotettavuustasoa laskettaessa tehtiin muutoksia kuormien perusmuuttujiin. Kuormien keskiarvot voitiin arvioida suoraan hyväksytysti mitoitetuista ominaisarvoista olettamalla niiden olevan 5 %:n fraktiiliarvoja. Hajontojen laskemisessa käytettiin samoja variaatiokertoimen arvoja kuin mitoitettaessa pienennetyllä kapasiteetilla. Uusien luotettavuusindeksien arvot on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Kuorman arvoja korottamalla saadut luotettavuusindeksit.

PISTE	MURTOTAPA	P/L	P_d/P_l	β
1	TAIVUTUS	0.74	2.61	4.63
6	TAIVUTUS	0.53	7.00	4.45
8	TAIVUTUS	0.77	4.24	4.67
15	LEIKK.VETOM.	1.89	1.13	5.44
17	LEIKK.VETOM.	3.50	0.63	4.63
20	HALKEAMINEN	0.61	3.05	4.87
25	HALKEAMINEN	0.40	4.29	4.57
27	ANKKUROINTI	0.80	0.84	4.66

Jotta näitä arvoja voitaisiin verrata haluttuun tasoon, joudutaan kaavan (19) summan arvo laskemaan uudestaan, koska pisteiden lukumäärä on muuttunut. Näille kahdeksalle pisteelle taulukon 8 arvoilla summan arvoksi saadaan 0.143, kun vastaavasti kalibroiduilla arvoilla laskettaessa summan arvo on vain 0.0492.

Kalibroitaessa kuormaa kasvattamalla saavutetaan se etu, että luotettavuustason putoaminen ei ole niin riippuvainen murtotavasta kuin mitä se on kalibroitaessa betonin puristuslujuutta pienentämällä. Kuitenkin on epäilyttävää tutkia betonin materiaalin osavarmuusluvun muutoksen vaikutusta kuorman arvoihin, koska nämä kaksi muuttujaa ovat toisistaan riippumattomia.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 Suositus uudeksi osavarmuuskertoimeksi

Uuden osavarmuusluvun arvoksi voidaan valita 1,30. Kalibrointikiirroksia voitaisiin tehdä kapasiteettia pienentämällä myös pienemmillä osavarmuuskertoimen arvoilla, mutta mitä ilmeisimmin kaavan (19) neliösumman arvo nousisi hyvin äkkiä yli nykyisen normin mukaisen luotettavuustason summan. Lisäksi ontelolaattojen tuotantoprosessin kannalta ei liene järkevää pudottaa betonin puristuslujuuden arvoa lisää, koska lujuudenkehityksen on tärkeää saavuttaa nopeasti riittävä laukaisulujuus, ja tämä vaatii myös laskenta- ja keskiarvolta korkeaa lähtötasoa.

Osavarmuuslukuun luottaminen kuormaa nostamalla tehdyllä kalibroinnilla ei tämän tutkimuksen puitteissa ole järkevää, koska se edellyttäisi tarkempaa tietoa myös jännepunosten tilastollisista ominaisuuksista. Tällöin kapasiteetin epävarmuuksista olisi rakenneyhtälössä riittävästi tietoa ja siten olisi mahdollista arvioida kaikkien osavarmuuslukujen yhdistelmän vaikutusta luotettavuustasoon sen sijaan, että tarkasteltaisiin vain yhtä lukua. Sopivan osavarmuuslukujen yhdistelmän määrittelee tällöin saavutettava luotettavuustaso tuotetuille valmisosille ja yhdistelmän herkkyys ko. valmisosien murtotapojen muuttumiselle. Tämä ajattelu-tapa voidaan yleistää koskemaan kaikkien tyyppihyväksytyjen tuotteiden mitoitusta.

Uuden osavarmuuskertoimen käyttö vaatii myös keskiarvovaatimusten valvomista. Koska nyt luotettavuustason laskennassa voitiin keskiarvo pudottaa arvosta 60 MPa arvoon 50 MPa, täytyy laadunvalvonnassa seurata tuotannosta saatavien koestustulosten keskiarvon ja hajonnan kehittymistä.

10.2 Tilastollisen laadunvalvonnan merkitys

Tutkimuksessa ilmeni selvästi, kuinka huonosti ontelolaattatuotannossa yleisesti hyödynnetään laadunvalvonnalta saatavaa informaatiota. Laadunvalvontasopimuksissa edellytettyjen suureiden mittaukset suoritetaan joka tehtaalla, mutta niiden avulla vain todetaan tuotteiden kelpoisuus eikä seurata tuotannon luonnetta puhumattakaan, että mittaustuloksia käytettäisiin tuotannon ohjaukseen.

Jotkut valmistajista pyrkivätkin nyt tehostamaan laadunvalvontaa mittaamalla laatoista enemmän suureita, kuin mitä laadunvalvontasopimus edellyttää. Tulossa ovat myös tuotannon seuraamista helpottavat mittaustiedon keräys- ja käsittelyjärjestelmät. Itse mittaamisessa pyritään suoritus automatisoimaan ja tulosten tallentaminen yritetään saada paperilta tietokoneelle. Mittaustiedon käsittelyyn on tulossa nimenomaa betonteollisuuden tarpeisin suunniteltuja tietokantaohjelmistoja, jotka suorittavat tuotannon ohjaamista helpottavia yksinkertaisia tilastollisia analyysejä. Tavoitteena tehtailla onkin saada tuotannon seuranta mahdollisimman reaaliaikaiseksi.

Ulkoisen laadunvalvonnan kannalta laadunvalvonnan tiedonkeruun ja tallentamisen ohjelmistoilla on myös suuri merkitys. Viranomaistahot voivat tehdä tehtaiden jo valmiiksi tietokoneelle tallennetuille mittaus- ja koestustuloksille luvussa 6 esitettyjen kaltaisia tilastollisia analyysejä. Tällä hetkellä valmistajien keräämiä

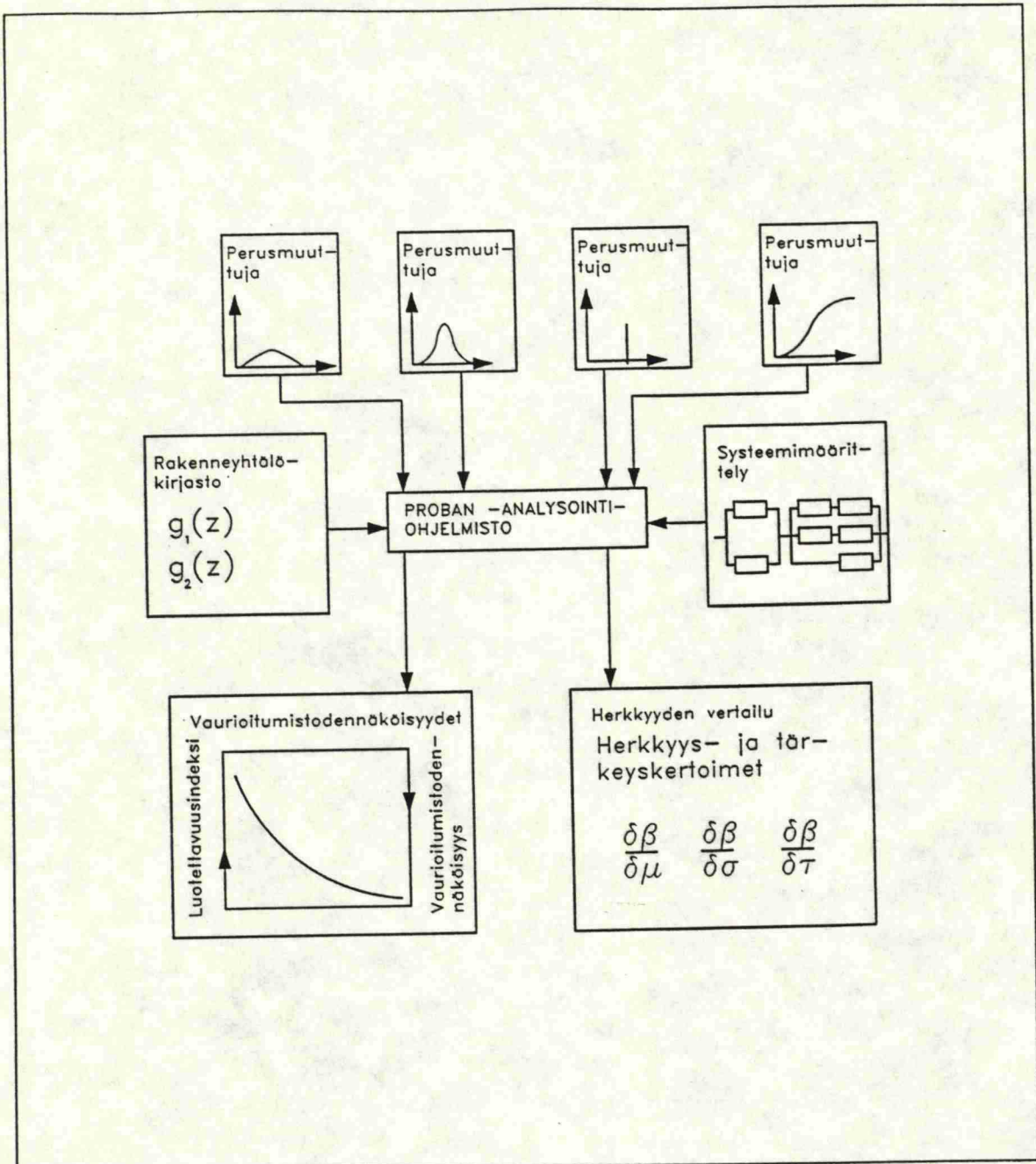
mittaustuloksia ei analysoida mitenkään, ne vain kerätään talteen. On selvää, että analyysien antama informaatio antaa huomattavasti enemmän kuin tulosten silmämääräinen tarkastelu. Esimerkiksi pitkän aikavälin keskiarvoille tai hajonnoille tehty analyysi kertoo paljon tehtaan tuotannon kehittymisestä.

10.3 Osavarmuusluvun kalibrointiprosessin arviointi

Osavarmuusluvun määrittäminen tämän tutkimuksen kaltaisella kalibrointiprosessilla on monelta osin hyvin subjektiivinen tapa. Varsinkin rakenneyhtälöiden muodostaminen, kuormien ja kuormitusyhdistelmien mallintaminen sekä vaadittavan luotettavuustason valitseminen vaativat kokemuseräistä päätöksentekoa. Kuitenkin menetelmä on parempi kuin suora kokemukseen perustuva. Lisäksi menetelmällä saavutettavan tuloksen muuttumista voidaan pitkällä tähtäyksellä seurata tuotannon mittatarkkuuden muuttumisen mukana.

Tutkimuksessa on ontelolaattaa tarkasteltu yksittäisenä rakenneosana. Todellisuudessa laatta toimii aina osana rakennetta, laatastoa. Tällöin joudutaan tarkastelemaan rakennetta systeeminä ja arvioimaan systeemin osien keskinäiset riippuvuudet. Rakennesysteemi voi koostua sarjaan tai rinnan kytketyistä osista tai näiden yhdistelmistä. Sarjaan kytketty rakennesysteemi vaurioituu, jos yksi sen osista vaurioituu ja rinnan kytketty jos sen kaikki osat vaurioituvat. On selvää, että tämänkaltaisen rakennesysteemin mallintaminen on monimutkaista, puhumattakaan koko systeemin luotettavuuden arvioimisesta.

Luotettavuuden arviointiin käytetyt menetelmät ovat viime vuosien aikana kehittyneet sille tasolle, että myös rakennesysteemin riippuvuuksien huomioonottaminen on mahdollista. Näille optimointimenetelmille (vrt taulukko 1) on myös tyypillistä taloudellisuuden huomioiminen ja rakenteen koko elinjakson tarkastelu. Kuvan 21 tyypillisellä systeemillä pystyttäisiin analysoimaan myös kokonaista laatastoa sekä saamaan informaatiota eri tekijöiden vaikutuksesta luotettavuuteen aivan eri tavalla kuin tämän tutkimuksen puitteissa on ollut mahdollista. Tietojenkäsittelyn nopea kehityksen myötä saataville on tullut ohjelmistoja, jotka kykenevät tämänkaltaisiin analyyseihin.



Kuva 21: Nykyaikaisen rakenteiden luotettavuuden arviointiin käytetty ohjelmisto

10.4 Luotettavuusanalyysin merkitys valmisosatutannolle

Ontelolaatta- ja muussa elementtituotannossa tämän työn kaltaisen luotettavuustutkimuksen ja osavarmuusluvun määrittämisellä voidaan saavuttaa mitoituksen kannalta tuotantoprosessin ja tuotteen ominaisuudet paremmin huomioivat osavarmuusluvut kuin mitä pelkällä kokemukseen perustuvalla määrittämisellä on totuttu tekemään. Lisäksi menetelmällä on se etu, että mikäli

tuotantoprosessi kehittyä edelleen, voidaan luotettavuustasoa helposti arvioida uudelleen ja tutkia parantuneen prosessin vaikutusta osavarmuuslukuihin.

Se, miten elementtituotannossa voidaan huomioida osavarmuusluvun pienenemisen vaikutus, on riippuvainen tehtaiden omista tarpeista. Kuten on aiemmin käynyt jo ilmi, tuotannon mitoitusarvojen muuttaminen on kapasiteetin osalta vaikeaa. Mittojen arvoista ainoa mahdollinen muuttuva suure on jänneväli, jonka arvoja tietysti mitoituskäyrien suhteen voidaan muuttaa, ts. jännevälejä voitaisiin kasvattaa. Poikkileikkauksen arvot ovat ontelolaattatuotannossa vaikeita muuttaa valukoneiston takia ja muussa elementtituotannossa jouduttaisiin vaihtamaan muottikalustoa. Tosin esimerkiksi rakenneosien korkeuden muuttaminen saattaisi osaltaan vaikuttaa, vaikkakin vähäisesti, koko rakennuksen korkeuteen. Materiaalin lujuuden, tässä tapauksessa ja yleensä betonielementtituotannossa, betonin puristuslujuuden pienentäminen aiheuttaa taas betonin suhteutuksessa huomattavia muutoksia. Aiemmin variaatioltaan hyvin hallintaan saatu lujuusluokka saatettaisiin joutua vaihtamaan pienempään luokkaan, jonka variaation mahdollistaminen sopiviin rajoihin saattaisi vaatia paljon työtä ja turhia betonin suhteutuksen reseptimuutoksia. Järkevin ratkaisu lienee tämänkaltaista kalibrointiprosessia hyödynnettäessä se, että elementtien valmistajat tekisivät uudet mitoituskäyrästöt normaaliin tapaan käyttämällä uutta osavarmuuskertoimen arvoa laskennassa.

Paras, mutta työläin, ratkaisu olisi muodostaa mitoituskäyrästöt niin, että käyrän jokaisessa pisteessä rakenteen vaurioitumistodennäköisyys olisi vakio tai mahdollisimman lähellä jotain sopivaa tasoa. Tämäntapaisia sovellutuksia on tehty esim. Länsi-Saksassa teollisesti valmistettujen savupiippujen tuotannossa [Bottenbruch, 1989].

KIRJALLISUUSLUETTELO

- Bottenbruch, H. 1989. On the CICIND Code, ICOSSAR, San Francisco, 7-11. 8. 1989, ASCE, (julkaisematon).
- Bourgund, U. & Bücher, C. G. 1986. -ISPUD- A User's Manual. Innsbruck, Universität Innsbruck. 107 s.
- BY 15. 1987. Betoninormit. Suomen betoniyhdistys r.y. 160 s.
- CIRIA. 1977. Rationalization of Safety and Serviceability Factors in Structural Codes, Report No. 63. London, Construction Industry Research and Information Association.
- Ditlevsen, O. 1981. Fundamental Postulate in Structural Safety, J. Eng. Mech. Div., ASCE, 109, no. 4. s. 1096-1102
- Elfving. 1956. Todennäköisyyslaskenta. Helsinki, Otava
- Freudenthal, A. M. et al. 1966. The Analysis of Structural Safety. J. Structural Div. ASCE, 92. s. 267-325.
- Hannus, M. 1973. Rakenteiden luotettavuus. Helsinki, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Julkaisu 8. 86 s.
- Hollander, M. & Wolfe, D. A. 1973. Nonparametric Statistical Methods. New York, Wiley. 354 s.
- Johnson, A. I. 1971. Strength, Safety, and Economical Design of Structures. Stockholm, Statens institut för byggnadsforskning, Dokument D7: 1971. 168 s.
- Jokela, J. ym. 1980. Kovettuneen betonin perusominaisuudet. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tiedonanto 74. 102 s.
- Koskisto, O. 1988. Rakenteiden luotettavuus. Rakenteiden Mekaniikka, 19, 3. s. 20-48.
- Koskisto, O. & Koivu, T. 1989. Valmisosien luotettavuustarkastelu uudelle tasolle. Rakennustekniikka I/89, s. 55-59.
- Laininen, P. 1985. Todennäköisyyslasku ja tilastomatematiikka, 5. painos, Espoo, Otakustantamo. 254 s.
- Madsen, H. O. & Krenk, S. 1986. Methods of Structural Safety, New Jersey, Prentice-Hall Inc. 403 s.

Melchers, R. E. 1987. Structural Reliability, Analysis and Prediction. West Sussex, England, Ellis Horwood Ltd. 400 s.

Milton, J.S. & Arnold, J.C. 1986. Probability and Statistics in the Engineering and Computing Sciences, England, McGraw-Hill, 456 s.

NKB 56. 1987. Suositukset kantavien rakenteiden kuormitus- ja varmuusmääräyksiksi. Pohjoismainen rakentamismääräyskomitea. 100 s.

Pajari, M. 1989. Jännitettyjen ontelolaattojen mitoitus. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 87 s.

RIL 144. 1982. Kuormitusnormit. Suomen rakennusinsinöörien liitto. 171 s.

Sarja, A. 1983. Rakenteiden varmuus ja sen määräytymisperusteet. Rakenteiden varmuus ja kuormitus, Helsinki 27. 1. 1983, Suomen rakennusinsinöörien liitto. s. 5-64.

Schüller, G. I. 1987. A prospective study of materials based on stochastic methods. Materials and Structures, 20. s. 242-247.

Schüller, G. I. et al. 1987. On Efficient Computational Schemes to Calculate Structural Failure Probabilities. Lecture notes in engineering, Innsbruck.

Statistical Graphics Corporation, 1987, Statgraphics - Users Guide.

Vrouwenvelder, A. C. & Siemes, A. 1987. Probabilistic Calibration Procedure for the Derivation of Partial Safety Factors for the Netherlands Building Codes. Heron 32, 4. s. 9-29.

Weck, T-U. 1986. Osavarmuuslukujen määrittäminen. Rakenteiden Mekaniikka, 19, 3. s. 20-48.

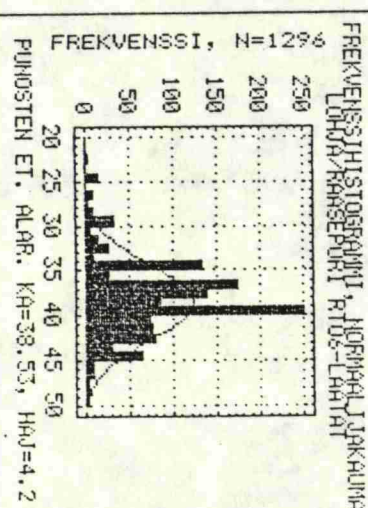
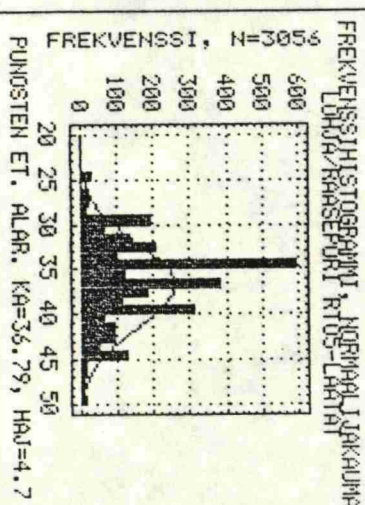
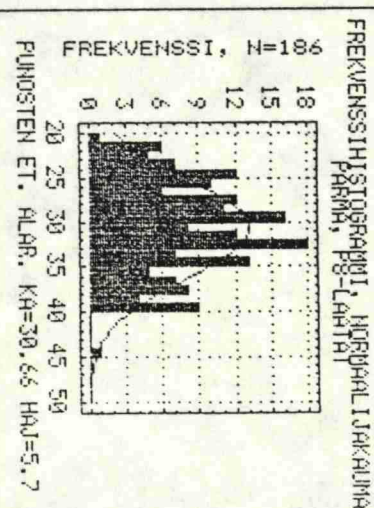
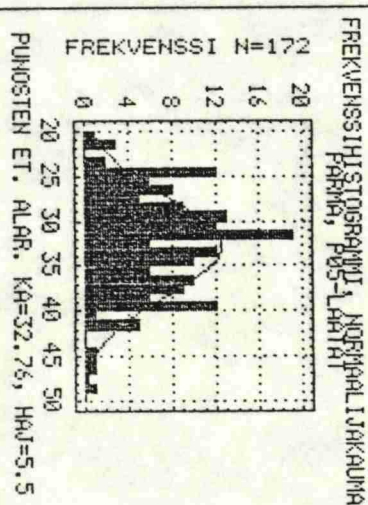
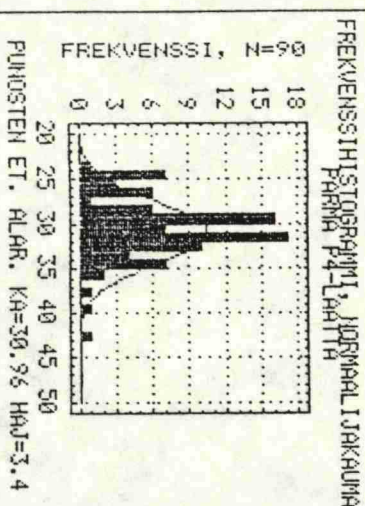
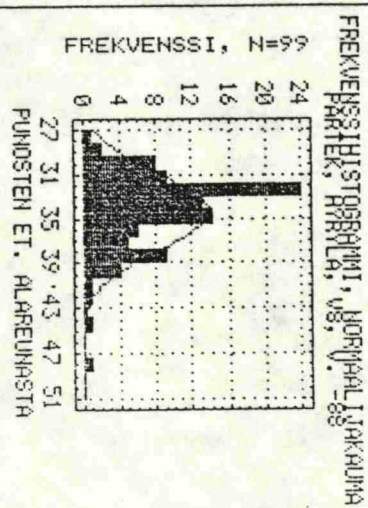
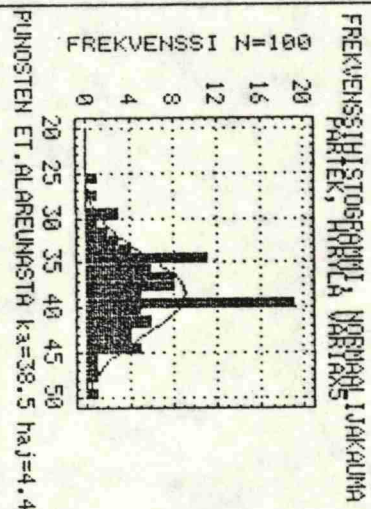
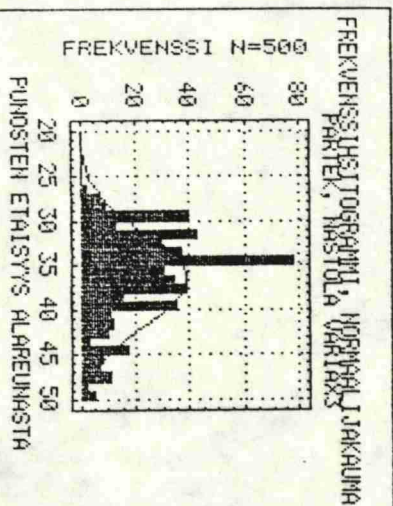
LAATAN KORKEUDET LAATTATYYPEITTÄIN

<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PÄRTEK, HYÖRYLÄ, V4-LAATAT</p> <p>FREKVENSSSI, N=98</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=401.3, HAJ=4.9</p>	<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PÄRTEK, HÄSTÖLÄ, VÄRTIKAS</p> <p>FREKVENSSSI, N=740</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=259.7, HAJ=2.8</p>	<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PÄRTEK, VÄLJÄLÄ, VÄRTIKAS</p> <p>FREKVENSSSI, N=99</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=151.4, HAJ=1.7</p>
<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PÄRTEK, P4-LAATAT</p> <p>FREKVENSSSI, N=90</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=401.4, HAJ=3.61</p>	<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PÄRTEK, P6S-LAATAT</p> <p>FREKVENSSSI, N=172</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=265.84, HAJ=3.26</p>	<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PÄRTEK, P8-LAATAT</p> <p>FREKVENSSSI, N=90</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=158.07, HAJ=2.8</p>
	<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA LOHJA, BETONINORMINEN TEHDAS, L6S-LAATAT</p> <p>FREKVENSSSI, N=109</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=268.4, HAJ=3.2</p>	<p>FREKVENSIIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA LOHJA, SEINERÄ, L8-LAATAT</p> <p>FREKVENSSSI, N=101</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=153.9, HAJ=1.9</p>

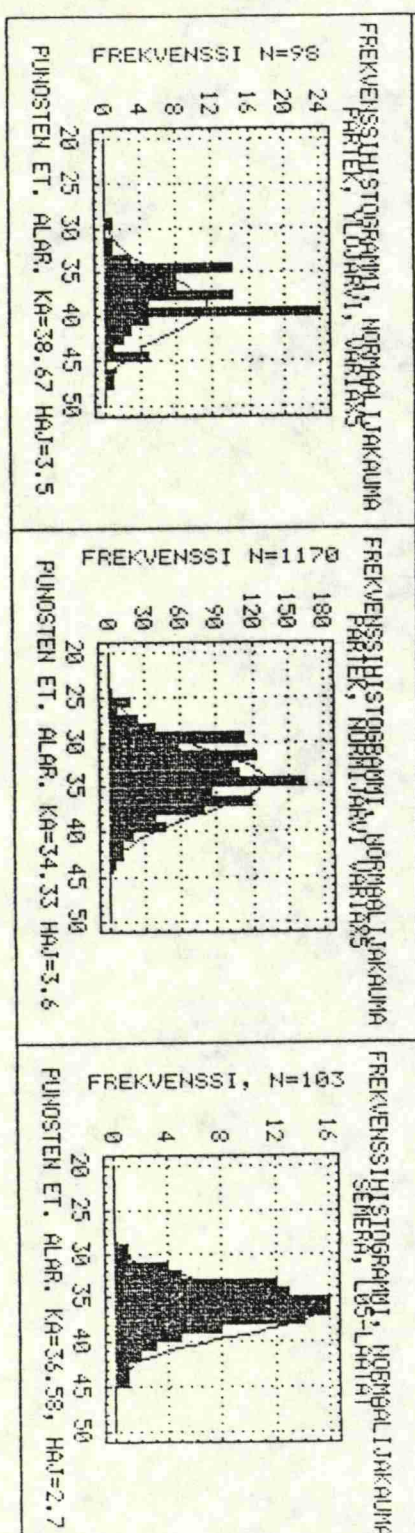
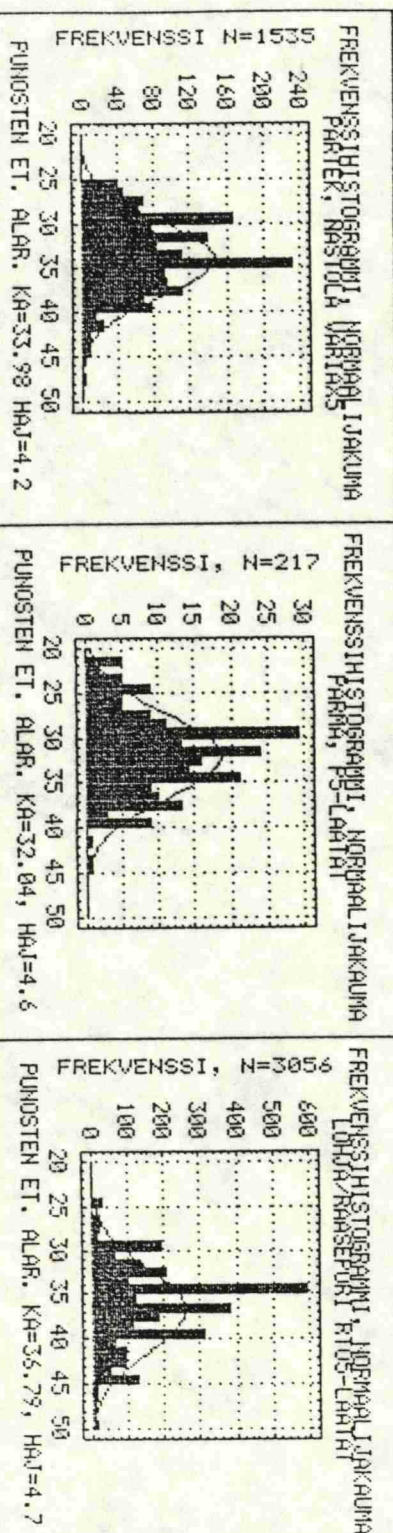
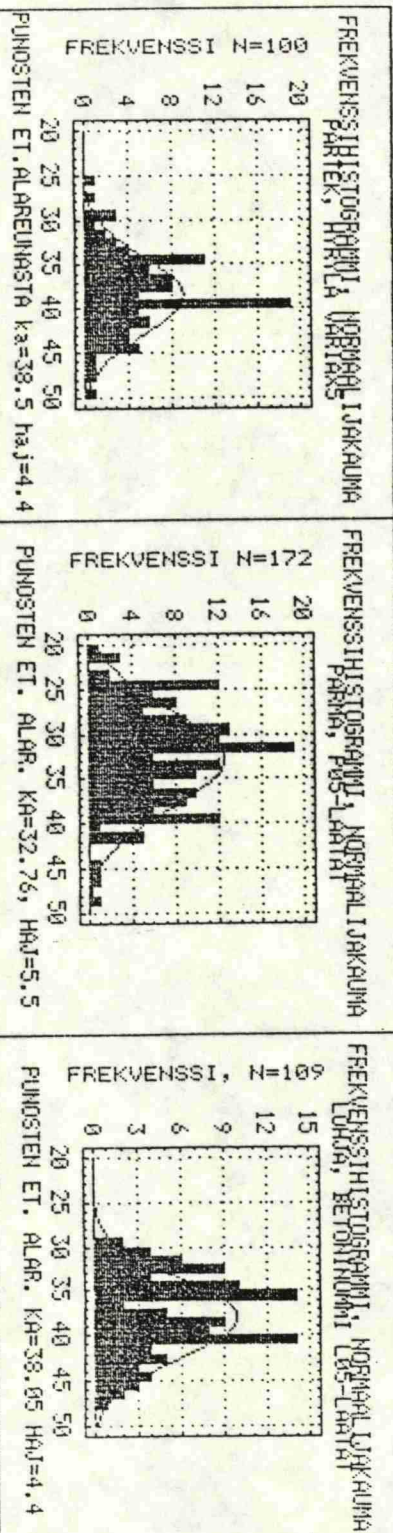
LAATAN KORKEUDET 265 mm:N NIMELLISKORKEUISILLA LAATOILLA

<p>FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PARTEK, NIEMI JAHO, VAKTAS</p> <p>FREKVENSSI, N=557</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=266.8 HAI=2.8</p>	<p>FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PARTEK, HYVILÄ VAKTAS</p> <p>FREKVENSSI, N=100</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=262.4 HAI=2.8</p>	<p>FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PARTEK, VILJARI, VAKTAS</p> <p>FREKVENSSI, N=100</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=262.2, HAI=2.4</p>
<p>FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PARMA, PS-LAATAT</p> <p>FREKVENSSI, N=217</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=267.9, HAI=3.4</p>	<p>FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA PARMA, PS-LAATAT</p> <p>FREKVENSSI, N=172</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=265.84, HAI=3.26</p>	
<p>FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA LOHJA, BETONINOMEN TEHDAS, LÖS-LAATAT</p> <p>FREKVENSSI, N=109</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=268.4, HAI=3.2</p>	<p>FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA SENERAN LÖS-LAATAT</p> <p>FREKVENSSI, N=102</p> <p>LAATAN KORKEUS, KA=266.51, HAI=2.5</p>	

PUNOSTEN ETÄISYYDET LAATAN ALAREUNASTA
LAATTATYYPEITTÄIN



PUNOSTEN ETÄISYYDET LAATAN ALAREUNASTA 265 mm KORKEILLA LAATOILLA

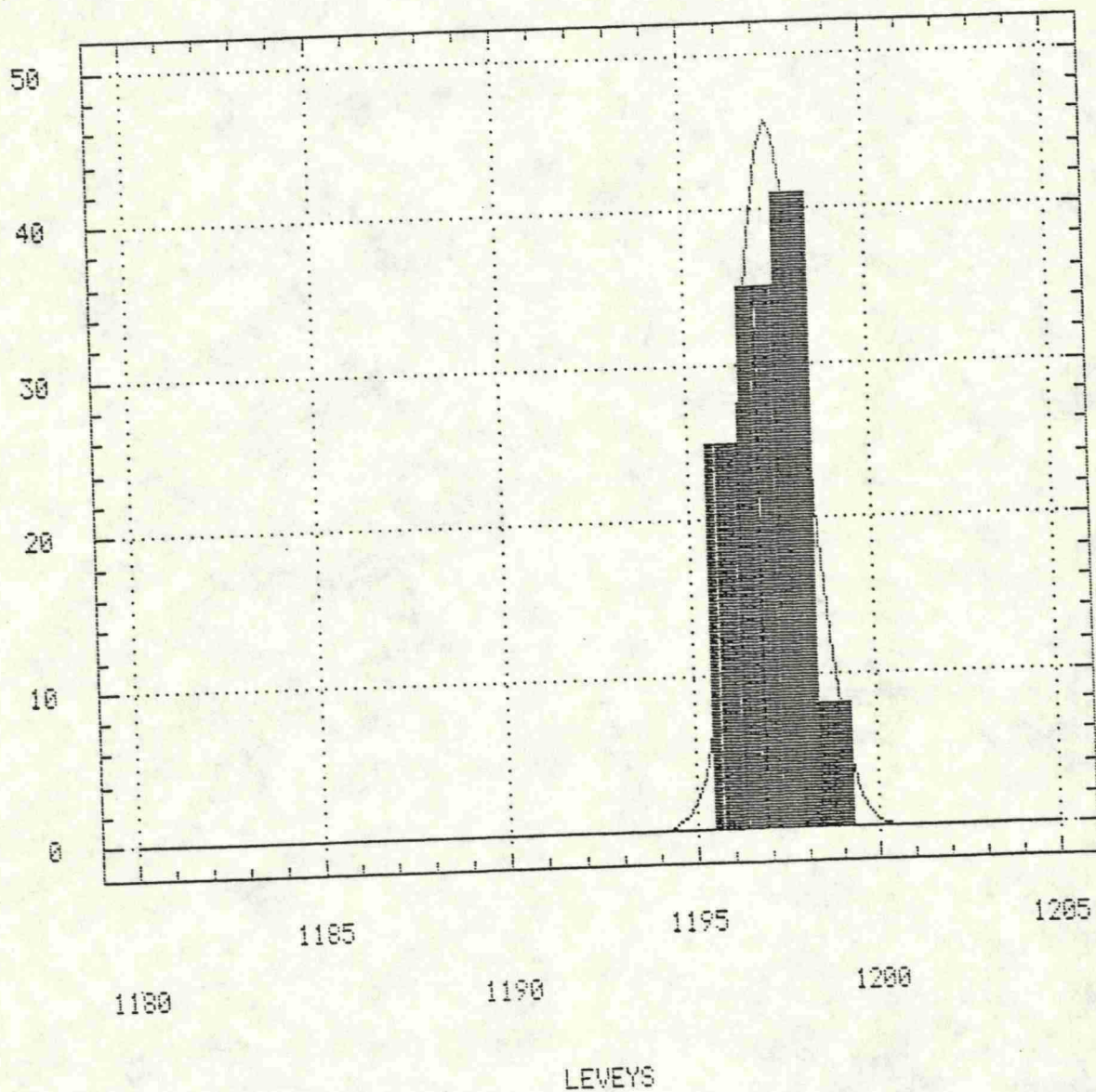


ESIMERKKI LAATAN LEVEYDESTÄ

FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA

LOHJA, B-NUMMI, P05, 87-88

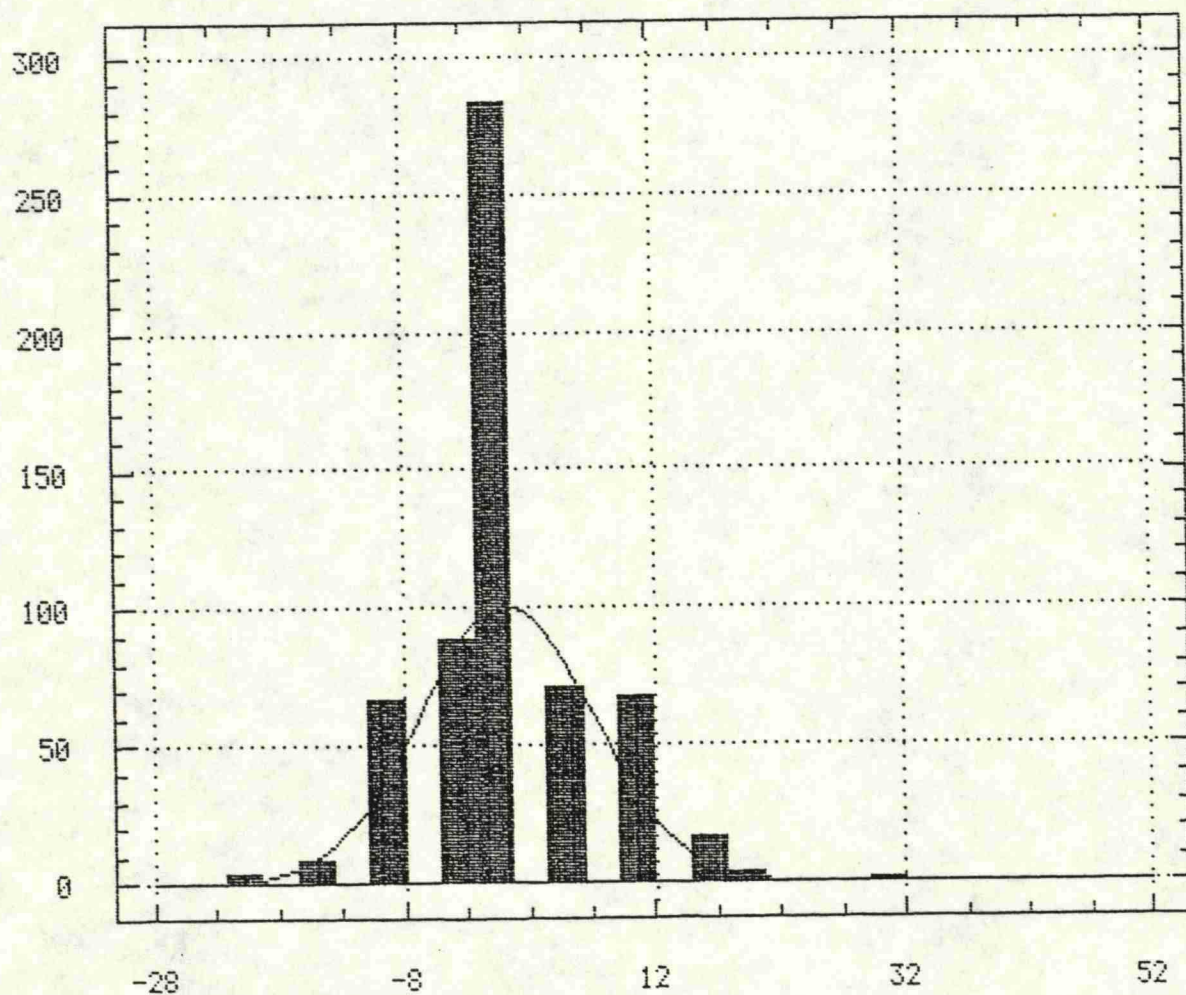
FREKVENSSI, N=109



ESIMERKKI LAATAN PITUUDEN POIKKEAMASTA

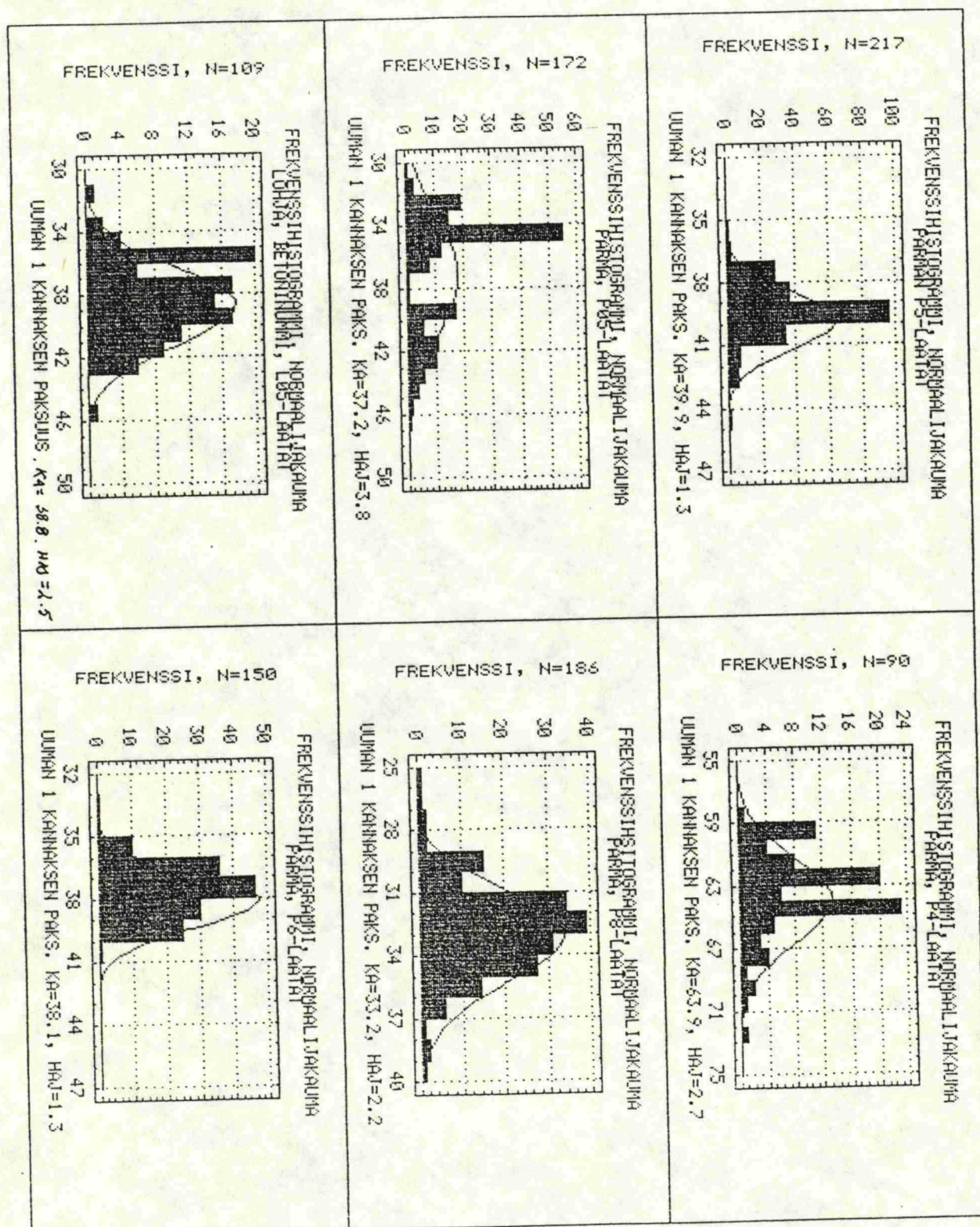
FREKVENSSIHISTOGRAMMI, NORMAALIJAKAUMA

LOHJA, VEIKKOLA, RT05

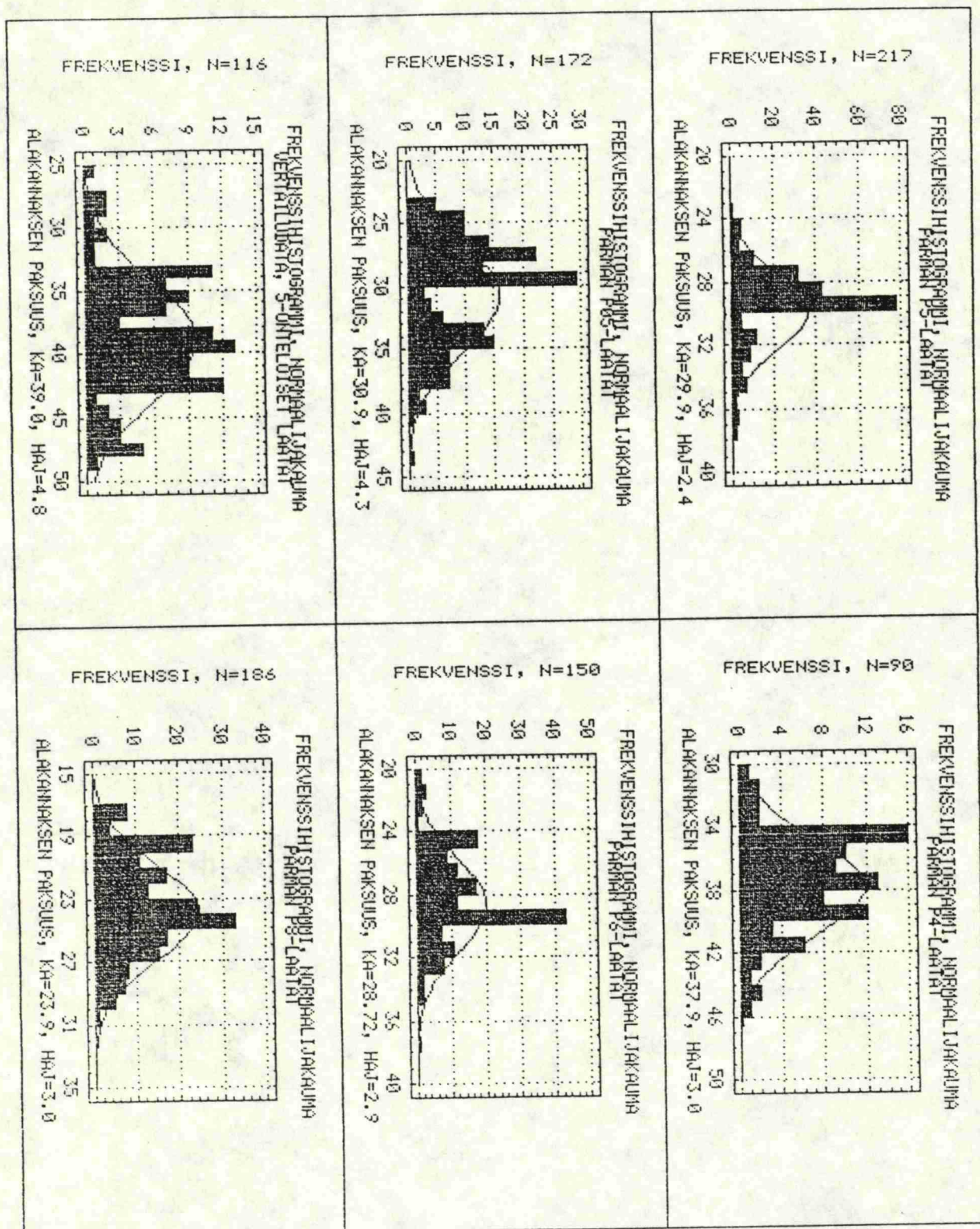


PITUUDEN POIKKEAMA

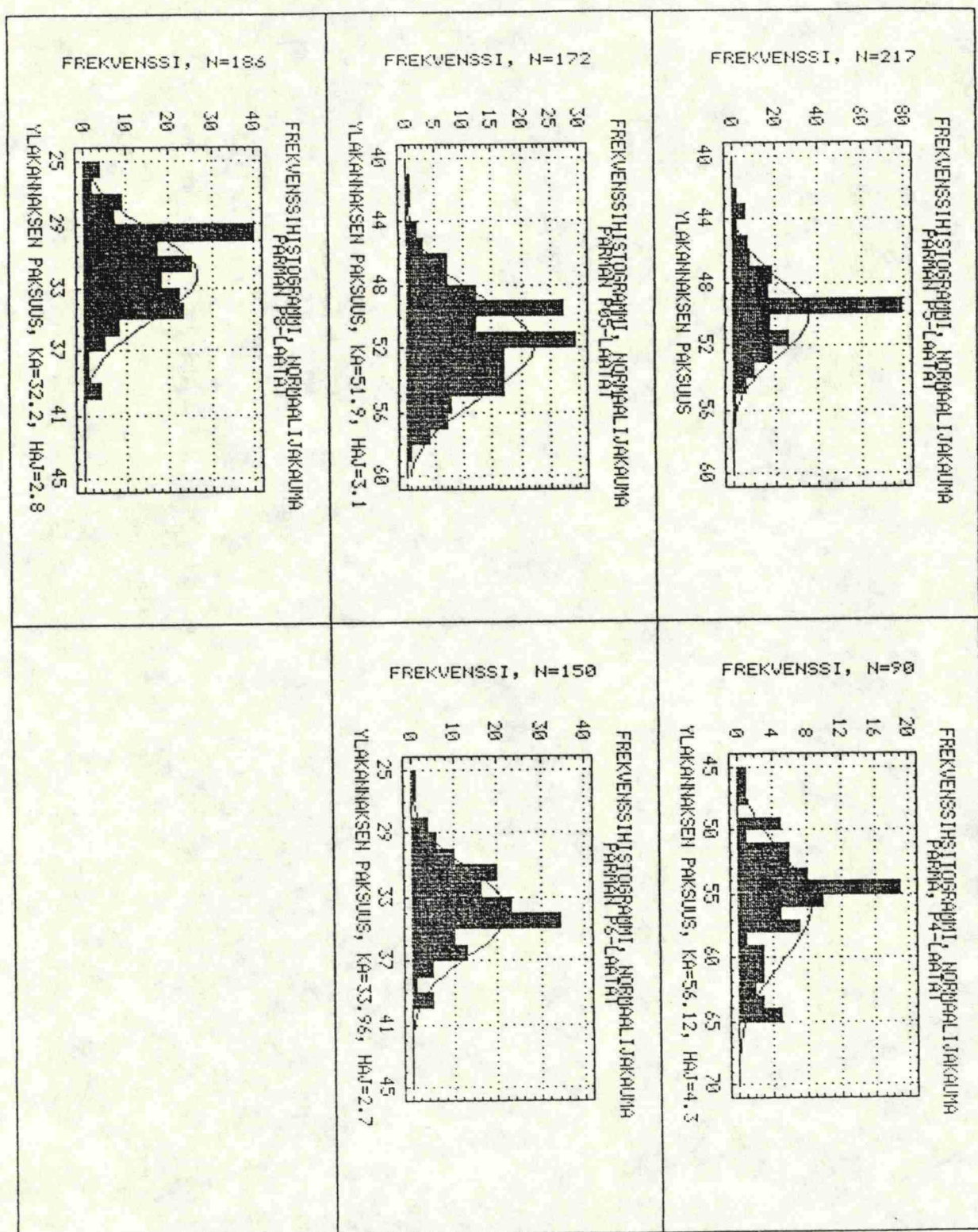
UUMAN YHDEN KANNAKSEN PAKSUUDET



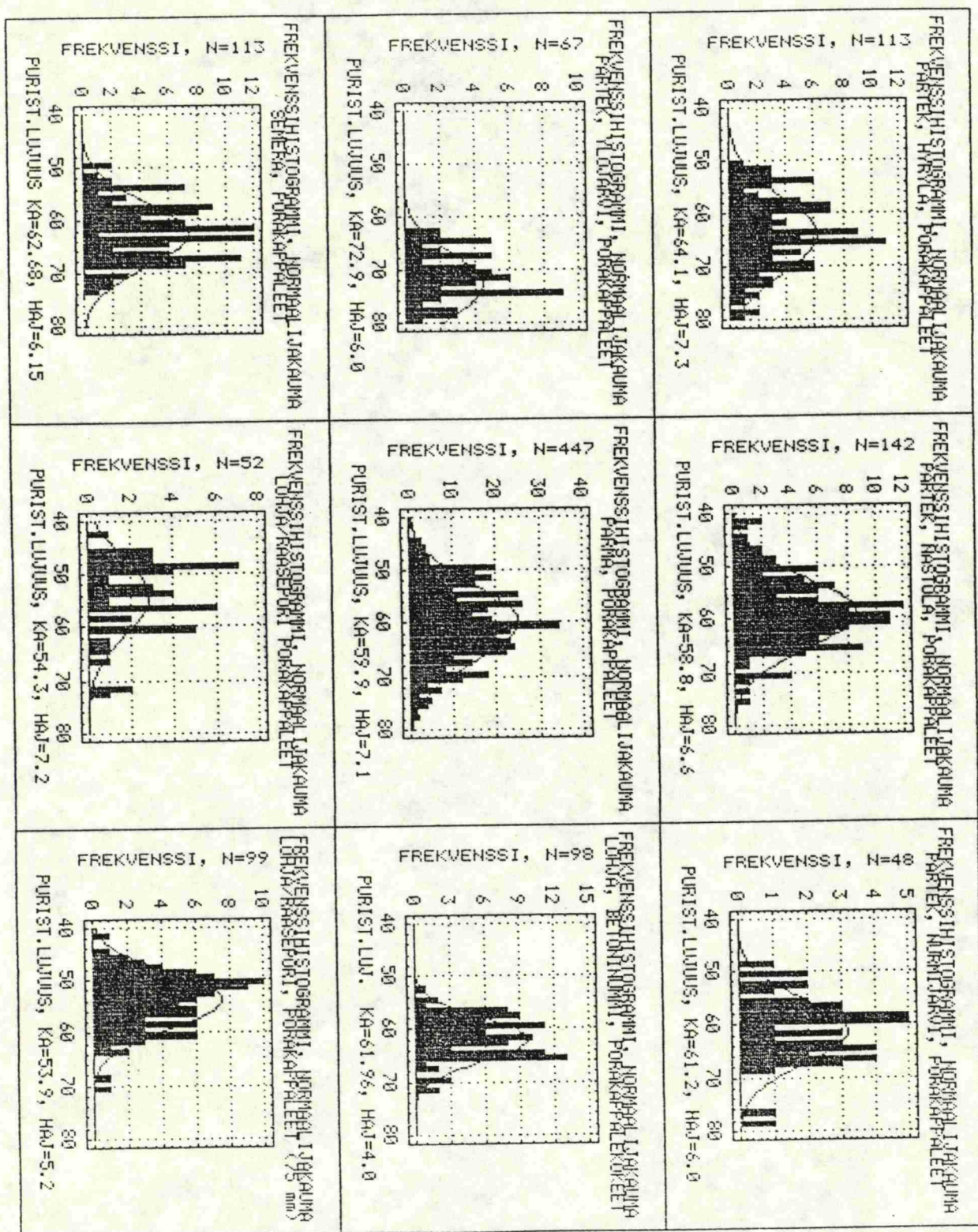
LAATAN ALAKANNASTEN PAKSUUDET



LAATAN YLÄKANNASTEN PAKSUUDET

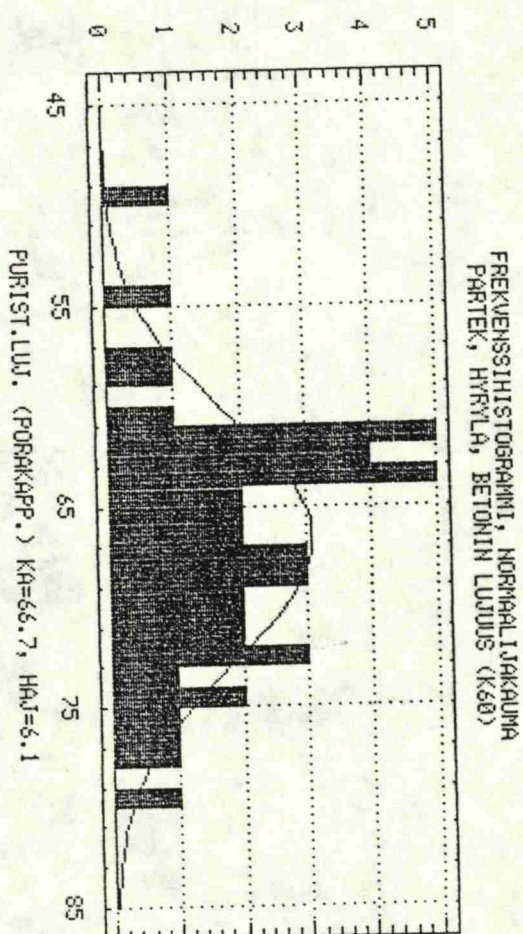


BETONIN PURISTUSLUJUUDET TEHTAITTAIN, LUJUUSLUOKKA K 50

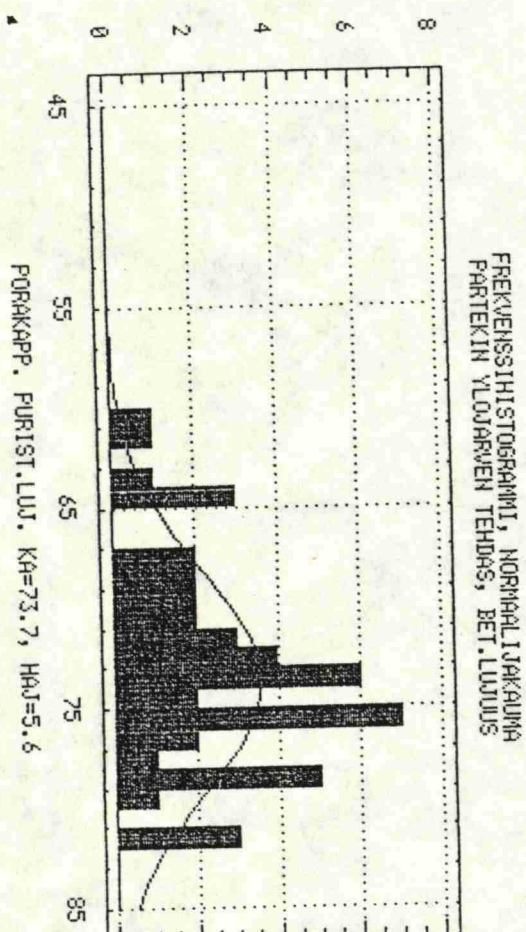


BETONIN PURISTUSLUJUUDET TEHTAITTAIN, LUJUUSLUOKKA K 60

FREKVENSSI, N=47



FREKVENSSI, N=50



LIITE 2/1, RAKENNEYHTÄLÖT

VARSINAINEN RAKENNEYHTÄLÖ ON KIRJOITETTU MUOTOON
XLIMIT = KAPASITEETTI - RASITUKSET

KAPASITEETIN JA KUORMIEN LAUSEKKEIDEN MUUTTUJAT
ON JAOTELTU SEURAAVASTI:

- PERUSMUUTTUJAT OVAT VEKTORIMUODOSSA (X(1..N),
- JOHDETUT DIMENSIOT OVAT "APUMUUTTUJIA"

TAIVUTUSVETOMURTO:

TAIVUTUSMURRON TAPAUKSESSA (TÄMÄ ON KALIBROINTIPISTEEN 1
RAKENNEYHTÄLÖ) MUUTTUJILLA ON
SEURAAVAT MERKITYKSET:

1: PERUSMUUTTUJAT:

- X(1) ON LAATAN LEVEYS
- X(2) ON LAATAN KORKEUS
- X(3) ON YLAKANNAKSEN PAKSUUS
- X(4) ON PUNOKSEN ETAISYYS ALAREUNASTA
- X(5) ON BETONIN PURISTUSLUJUUS
- X(6) ON JÄNNEVALI
- X(7) ON OMAPAINO
- X(8) ON MUUT PYSYVAT KUORMAT
- X(9) ON MUUTTUVA KUORMA
- X(10) ON "INSINÖÖRITEKIJÄ (Ei ole käytetty kaikissa pisteissä)

2: APUMUUTTUJAT (=JOHDETUT SUUREET)

- E PUNOKSEN PAINOPISTEEN ETÄISYYS = $X(4) + FII/2$
- SX ON MAKSIMIMOMENTTI
- AS ON PUNOKSEN POIKKILEIKKAUKSEN ALA
- AX MOMENTTIKAPASITEETTI

3: VAKIOT

- PUNLKM ON PUNOSTEN LUKUMÄÄRÄ
- FII ON PUNOKSEN LÄPIMITTA
- FYD ON TERÄKSEN MYÖTOLUJUUS

huom!!! YKSIKOT OVAT m JA kN !!!!!

$$FII = 0.0093$$

$$E = X(4) + FII/2$$

$$PUNLKM = 4$$

$$AS = PUNLKM * 3.14 * (FII/2) ** 2$$

$$FYD = 1600000$$

$$AX = AS * FYD * ((X(2) - E) - 0.5 * ((AS * FYD) / (X(1) * X(5))))$$

$$SX = (X(1) * (X(7) + X(8) + X(9)) * (X(6)) ** 2) / 8$$

$$XLIMIT = X(10) * (AX - SX)$$

LIITE 2/2, RAKENNEYHTÄLÖT

UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO, ALLE 400 mm KORKEAT LAATAT:

UUMAN LEIKKAUSVETOMURRON (TÄMÄ ON KALIBROINTIPISTEEN 12
RAKENNEYHTÄLÖ) TAPAUKSESSA MUUTTUJILLA ON
SEURAAVAT MERKITYKSET:

1: PERUSMUUTTUJAT:

X(1) ON LAATAN LEVEYS
X(2) ON LAATAN KORKEUS
X(3) ON ALAKANNAKSEN PAKSUUS
X(4) ON yläkannaksen paksuus
X(5) ON UUMAN YHDEN KANNAKSEN PAKSUUS (KOKO UUMA =
(M+1)*X5)
X(6) ON BETONIN VETOLUJUUS
X(7) ON JÄNNEVALI
X(8) ON OMAPAINO
X(9) ON MUUT PYSYVAT KUORMAT
X(10) ON MUUTTUVA KUORMA

2: APUMUUTTUJAT (=JOHDETUT SUUREET)

U ON KOKO UUMA ((m+1)*lkannas))
DX SISÄLTÄÄ MM. AS:N, A:N, LB:N JNE..
SX ON VOIMASUUREET
AS ON PUNOKSEN POIKKILEIKKAUKSEN ALA
BL ON ESIJÄNNITYSVOIMAN KEHITYSMISMATKA
A on poikkileikkauksen ala
VJA on jäyhyysmomentti
VS on staattinen momentti (neutr.aks. keskellä)

3: VAKIOT

PUNLKM ON PUNOSTEN LUKUMÄÄRÄ
FII ON PUNOKSEN LÄPIMITTA
SIGS ON ESIJÄNNITYS
ONTLKM ON ONTELOIDEN LUKUMÄÄRÄ
TARTK ON TARTUNTAKERROIN

huom!!! YKSIKOT OVAT m JA kN !!!!!

TARTK = 1.3
FII = 0.0093
SIGS = 1100000
ONTLKM = 8
PUNLKM = 9

$U = (ONTLKM+1)*X(5)$
 $BL = (70*FII)/TARTK$
 $AS = 3.14*(FII/2)**2$
 $A = X(1)*X(2) - 3.14*((D/2)**2)*ONTLKM$
 $VJA = X(1)*(X(2)**3)/12 - 3.14*ONTLKM*(D**4)/64$
 $VS = X(1)*(X(2)**2)/8 - (ONTLKM*D**3)/12$

LIITE 2/3, RAKENNEYHTÄLÖT

$$AX = VJA*U/VS$$

$$DX = (PUNLKM*AS*0.85*SIGS)/A$$

$$BX = \text{SQRT}(X(6)*X(6)+DX*X(6))$$

$$SX = ((X(8)+X(9)+X(10))/2)*(X(7)-X(4))$$

$$XLIMIT = AX*BX-SX$$

UUUMAN LEIKKAUVETOMURTO, 400 mm KORKEAT LAATAT

UUMAN LEIKKAUSVETOMURRON TAPAUKSESSA (TÄMÄ ON KALIBROINTIPISTEEN 18 RAKENNEYHTÄLÖ) MUUTTUJILLA ON SEURAAVAT MERKITYKSET:

1: PERUSMUUTTUJAT:

X(1) ON POIKKILEIKKAUKSEN PINTA-ALA
X(2) ON POIKKILEIKKAUKSEN JAYHYYSMOMENTTI
X(3) ON POIKKILEIKKAUKSEN STAATTINEN MOMENTTI
X(4) ON LAATAN PAKSUUS
X(5) ON UUMAN YHDEN KANNAKSEN PAKSUUS (KOKO UUMA =
(M+1)*X5)
X(6) ON BETONIN PURISTUSLUJUUS
X(7) ON JANNEVALI
X(8) ON OMAPAINO
X(9) ON MUUT PYSYVAT KUORMAT
X(10) ON MUUTTUVA KUORMA

2: APUMUUTTUJAT (=JOHDETUT SUUREET)

U ON KOKO UUMA ((m+1)*lkannas))
DX SISÄLTÄÄ MM. AS:N, A:N, LB:N JNE..
SX ON VOIMASUUREET
AS ON PUNOKSEN POIKKILEIKKAUKSEN ALA
BL ON ESIJANNITYSVOIMAN KEHITTYMISMATKA

3: VAKIOT

PUNLKM ON PUNOSTEN LUKUMAARA
FII ON PUNOKSEN LAPIMITTA
SIGS ON ESIJANNITYS
ONTLKM ON ONTELOIDEN LUKUMAARA
TARTK ON TARTUNTAKERROIN

huom!!! YKSIKOT OVAT m JA KN !!!!!

TARTK = 1.3
FII = 0.0125
SIGS = 1150000
ONTLKM = 3
PUNLKM = 10

U = (ONTLKM+1)*X(5)
BL = (70*FII)/TARTK
AS = 3.14*(FII/2)**2

LIITE 2/4, RAKENNEYHTÄLÖT

$$AX = X(2) * U / X(3)$$

$$BX = \text{SQRT}(X(6) * X(6) + DX * X(6))$$

$$DX = (\text{PUNLKM} * AS * 0.85 * \text{SIGS}) / X(1)$$

$$SX = ((X(8) + X(9) + X(10)) / 2) * (X(7) - X(4))$$

$$XLIMIT = AX * BX - SX$$

HALKEAMISMURTO, ALLE 400 mm KORKEAT LAATAT

HALKEAMISMURRON (TÄMÄ ON KALIBROINTIPISTEEN 20 RAKENNEYHTÄLÖ)
TAPAUKSESSA MUUTTUJILLA ON SEURAAVAT MERKITYKSET:

1: PERUSMUUTTUJAT:

X(1) ON LAATAN LEVEYS
X(2) ON LAATAN KORKEUS
X(3) ON ALAKANNAKSEN PAKSUUS
X(4) ON YLAKANNAKSEN PAKSUUS (VAIHDA D = X2 - X3 - X4)
X(5) on punoksen et. alareunasta
X(6) ON BETONIN PURISTUSLUJUUS
X(7) ON JANNEVALI
X(8) ON OMAPAINO
X(9) ON MUUT PYSYVAT KUORMAT
X(10) ON MUUTTUVA KUORMA
X(11) on taivutusvetolujuuden kerroin
X(12) on "insinööritekija"

2: APUMUUTTUJAT (=JOHDETUT SUUREET)

D ON ONTELON LAPIMITTA
W on taivutusvastus
FCTD ON BETONIN VETOLUJUUS
FCTF on betonin taivutusvetolujuus
SX ON VOIMASUUREET
A ON POIKKILEIKKAUKSEN ALA
AS ON PUNOKSEN POIKKILEIKKAUKSEN ALA
EP on punosten painopisteen etäisyys neutraaliakselista

3: VAKIOT

PUNLKM ON PUNOSTEN LUKUMAARA
FII ON PUNOKSEN LAPIMITTA
SIGS ON ESIJANNITYS
ONTLKM ON ONTELOIDEN LUKUMAARA
TARTK ON TARTUNTAKERROIN

huom!!! YKSIKOT OVAT m JA kN !!!!!

$$TARTK = 1.3$$

$$FII = 0.0093$$

$$SIGS = 900000$$

$$ONTLKM = 8$$

$$PUNLKM = 7$$

$$D = X(2) - X(3) - X(4)$$

$$A = X(1) * X(2) - ONTLKM * 3.14 * ((D/2) ** 2)$$

$$AS = 3.14 * (FII/2) ** 2$$

LIITE 2/5, RAKENNEYHTÄLÖT

$$FCTF = X(11) * (250 * (X(6) ** 0.666667))$$

$$FP = 0.85 * SIGS * AS * PUNLKM$$

$$W = (X(1) * X(2) * X(2) / 6) - (ONTLKM * (D ** 4)) / (32 * X(2))$$

$$EP = X(2) / 2 - (X(5) + (FII / 2))$$

$$SX = (X(1) * ((X(8) + X(9) + X(10)) * (X(7) ** 2))) / 8$$

$$HALKKAP = (W * (FCTF + FP / A)) + FP * EP$$

$$XLIMIT = X(12) * (HALKKAP - SX)$$

HALKEAMISMURTO, 400 mm KORKEAT LAATAT

HALKEAMISMURROSSA MUUTTUJILLA (TÄMÄ ON KALIBOINTIPISTEEN 25 RAKENNEYHTÄLÖ) ON SEURAAVAT MERKITYKSET:

1: PERUSMUUTTUJAT:

X(1) ON LAATAN LEVEYS
X(2) ON LAATAN KORKEUS
X(3) ON LAATAN POIKKILEIKKAUKSEN ALA
X(4) ON LAATAN POIKKILEIKKAUKSEN JÄYHYYS
X(5) on punoksen et. alareunasta
X(6) ON BETONIN PURISTUSLUJUUS
X(7) ON JÄNNEVALI
X(8) ON OMAPAINO
X(9) ON MUUT PYSYVAT KUORMAT
X(10) ON MUUTTUVA KUORMA
X(11) on taivutusvetolujuuden kerroin

2: APUMUUTTUJAT (=JOHDETUT SUUREET)

D ON ONTELON LÄPIMITTA
W on taivutusvastus
FCTD ON BETONIN VETOLUJUUS
FCTF on betonin taivutusvetolujuus
SX ON VOIMASUUREET
A ON POIKKILEIKKAUKSEN ALA
AS ON PUNOKSEN POIKKILEIKKAUKSEN ALA
EP on punosten painopisteen etäisyys neutraaliakselista

3: VAKIOT

PUNLKM ON PUNOSTEN LUKUMAARA
FII ON PUNOKSEN LAPIMITTA
SIGS ON ESIJANNITYS
ONTLKM ON ONTELOIDEN LUKUMAARA
TARTK ON TARTUNTAKERROIN

huom!!! YKSIKOT OVAT m JA KN !!!!!

LIITE 2/6, RAKENNEYHTÄLÖT

TARTK = 1.3
FII = 0.0125
SIGS = 1100000
ONTLKM = 3
PUNLKM = 6
AS = $3.14 \cdot (FII/2)^{**2}$
W = $X(4)/(X(2)/2)$

FCTF = $X(11) \cdot (250 \cdot (X(6)^{**0.666667}))$

FP = $0.85 \cdot SIGS \cdot AS \cdot PUNLKM$

EP = $X(2)/2 - (X(5) + (FII/2))$

SX = $(X(1) \cdot ((X(8) + X(9) + X(10)) \cdot (X(7)^{**2}))) / 8$

HALKKAP = $(W \cdot (FCTF + FP/X(3))) + FP \cdot EP$

XLIMIT = HALKKAP - SX

ANKKUROINTIMURTO

ANKKUROINTIMURRON (TÄMÄ ON KALIBOINTIPISTEEN 26 RAKENNEYHTÄLÖ)
TAPAUKSESSA MUUTUJILLA ON SEURAAVAT MERKITYKSET:

1: PERUSMUUTTUJAT:

X(1) ON LAATAN LEVEYS
X(2) ON LAATAN KORKEUS
X(3) ON PUNOKSEN ETÄISYYS ALAREUNASTA
X(4) ON BETONIN PURISTUSLUJUUS
X(5) ON JÄNNEVALI
X(6) ON OMAPAINO
X(7) ON MUUT PYSYVAT KUORMAT
X(8) ON MUUTTUVA KUORMA

2: APUMUUTTUJAT (=JOHDETUT SUUREET)

SX ON MOMENTTI ANKKUROINTIMURRON KANNALTA MITOITTA-
VASSA PISTEESSÄ
DD on tehollinen korkeus
Z on sisäinen momenttivarsi
XX on betonin puristetun osan korkeus
AS on teräspinta-ala

3: VAKIOT

PUNLKM ON PUNOSTEN LUKUMÄÄRÄ
FII ON PUNOKSEN LÄPIMITTA
FYD ON TERÄKSEN MYÖTÖLUJUUS
SIGS on esijännitysvoima

huom!!! YKSIKÖT OVAT m JA KN !!!!!

LIITE 2/7, RAKENNEYHTÄLÖT

FII = 0.0093

PUNLKM = 8

AS = PUNLKM*3.14*((FII/2)**2)

UP = PUNLKM*3.14*FII

FYD = 1600000

SIGS = 900000

TARK = 1.30

FCTD = 250*(X(4)**0.66667)

XX = (AS*FYD)/(X(1)*X(4)*1000)

DD = X(2) - (X(3) + FII/2)

Z = DD - XX/2

FP=(0.84*0.85*SIGS*AS)+TARTK*FCTD*UP*0.42*(1-(0.85*SIGS/FYD))

Tässä on oletettu halkeaman syntyvän kohtaan x= 0.40 m
tuelta ja tuen leveydeksi 40 mm

S1 = X(1)*(X(6)+X(7)+X(8))*X(5)*(0.4+Z/0.8342)*0.5

S2 = X(1)*(X(6)+X(7)+X(8))*((0.4+Z/0.8342)**2)*0.5

XLIMIT = FP*Z - (S1-S2)

KALIBROINTIPISTE 1, V8-LAATTA, TAIVUTUSMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.15200	0.23000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.20000e-01	0.16000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.35000e-01	0.31000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	5.6170	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.0000	0.10000
PYS.K.	NORMAALI	1.0000	0.15000
MUUTT.K.	T1-L-GUMBEL	1.1500	0.46000
INS.T.	NORMAALI	1.0000	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNNITTELUPISTE	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19841	0.458331e-01
KORKEUS	0.12198	0.18202	0.150757	-0.102779
YLÄK.P.	-0.88544e-03	0.40885e-01	0.196474e-01	-0.419111e-01
PUN.ET.	-0.54655e-02	0.75466e-01	0.374620e-01	0.151046
BET.LUJ.	-44427.	0.16443e+06	59178.9	-0.195214e-01
J-VÄLI	5.4212	5.8128	5.61953	0.320444e-01
OMAP.	0.69466	3.3053	2.03267	0.621370e-01
PYS.K.	-0.95801	2.9580	1.06057	0.767957e-01
MUUTT.K.	-0.65125	31.499	6.60491	2.25537
INS.T.	0.34733	1.6527	1.00005	0.202121e-03

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.730018e-07
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.729779e-07	0.383905e-08	5.3
2	0.793177e-07	0.466997e-08	5.9
3	0.765112e-07	0.410252e-08	5.4

KALIBROINTIPISTE 2, V5-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.30000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.35000e-01	0.40000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	9.0000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.5000	0.35000
PYS.K.	NORMAALI	0.20000	0.12500
MUUTT.K.	GUMBEL-1	1.0300	0.41000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19995	0.639552e-01
KORKEUS	0.22584	0.30416	0.263847	-0.622223e-01
YLÄK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.397245e-01	-0.139421e-01
PUN.ET.	-0.17214e-01	0.87214e-01	0.380481e-01	0.123382
BET.LUJ.	-44427.	0.16443e+06	59190.4	-0.163859e-01
J-VÄLI	8.8042	9.1958	9.00334	0.360820e-01
OMAP.	-1.0687	8.0687	3.89469	0.182589
PYS.K.	-1.4317	1.8317	0.247502	0.615299e-01
MUUTT.K.	-0.57546	28.080	7.46709	2.54208

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.329788e-09

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.288367e-09	0.166721e-10	5.8
2	0.298496e-09	0.173886e-10	5.8
3	0.330455e-09	0.236005e-10	7.1

KALIBROINTIPISTE 3, P05-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.30000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.35000e-01	0.40000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	10.000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.5000	0.35000
PYS.K.	NORMAALI	2.8000	0.35000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.5600	0.47000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19973	0.572597e-01
KORKEUS	0.22584	0.30416	0.263663	-0.684201e-01
YLÄK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.395788e-01	-0.202128e-01
PUN.ET.	-0.17214e-01	0.87214e-01	0.381041e-01	0.119167
BET.LUJ.	-44427.	0.16443e+06	58396.4	-0.307800e-01
J-VÄLI	9.7389	10.261	10.0045	0.343967e-01
OMAP.	-1.0687	8.0687	3.79401	0.128993
PYS.K.	-1.7687	7.3687	3.07304	0.119793
MUUTT.K.	0.24937e-36	70.028	9.67796	2.65231

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.372246e-10

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.359425e-10	0.247496e-11	6.9
2	0.396561e-10	0.396557e-11	10.0
3	0.322239e-10	0.278534e-11	8.6

KALIBROINTIPISTE 4, P8-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.15600	0.30000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.32000e-01	0.30000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.30000e-01	0.60000e-02
BET.LUJ.	LOG-NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	7.5000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.0000	0.20000
MUUTT.K..	LOG-NORMAALI	1.5200	0.61000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19747	0.324304e-01
KORKEUS	0.11684	0.19516	0.154897	-0.808513e-01
YLÄK.P.	-0.71602e-02	0.71160e-01	0.316087e-01	-0.286898e-01
PUN.ET.	-0.48320e-01	0.10832	0.349334e-01	0.180870
BET.LUJ.	0.59475e-32	0.33641e+06	58718.0	-0.352515e-01
J-VÄLI	7.2389	7.7611	7.50213	0.233864e-01
OMAP.	-0.61068	4.6107	2.07088	0.779582e-01
MUUTT.K.	0.24106e-36	218.83	7.84959	2.28253

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.273644e-05

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.263250e-05	0.198136e-06	7.5
2	0.272277e-05	0.241695e-06	8.9
3	0.268636e-05	0.177791e-06	6.6

KALIBROINTIPISTE 5, P8-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.15600	0.30000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.32000e-01	0.30000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.30000e-01	0.60000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	7.5000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.0000	0.20000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.5200	0.61000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19747	0.323693e-01
KORKEUS	0.11684	0.19516	0.154898	-0.807922e-01
YLÄK.P.	-0.71602e-02	0.71160e-01	0.316095e-01	-0.286278e-01
PUN.ET.	-0.48320e-01	0.10832	0.349334e-01	0.180814
BET.LUJ.	-44427.	0.16443e+06	59237.2	-0.209690e-01
J-VÄLI	7.2389	7.7611	7.50212	0.232875e-01
OMAP.	-0.61068	4.6107	2.07077	0.778193e-01
MUUTT.K.	0.24106e-36	218.83	7.85406	2.28346

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.271887e-05
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.305369e-05	0.427591e-06	14.0
2	0.266819e-05	0.193768e-06	7.3
3	0.272723e-05	0.246909e-06	9.1

KALIBROINTIPISTE 6, V4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKiarvo	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.38000e-01	0.50000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.56000e-01	0.60000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	65000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	15.000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	3.0000	0.30000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.6000	0.60000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19861	0.503668e-01
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.398358	-0.634153e-01
YLÄK.P.	-0.27267e-01	0.10327	0.375144e-01	-0.187576e-01
PUN.ET.	-0.22320e-01	0.13432	0.591508e-01	0.101431
BET.LUJ	-39427.	0.16943e+06	64102.1	-0.216789e-01
J-VÄLI	14.739	15.261	15.0025	0.243192e-01
OMAP.	-1.2214	9.2214	4.25108	0.121240
PYS.K.	-0.91602	6.9160	3.13379	0.861352e-01
MUUTT.K.	0.24981e-36	170.57	9.45228	2.52778

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.112753e-06
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.102896e-06	0.614029e-08	6.0
2	0.121303e-06	0.786426e-08	6.5
3	0.101625e-06	0.593229e-08	5.8

KALIBROINTIPISTE 7, V4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.38000e-01	0.50000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.56000e-01	0.60000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	65000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	20.000	0.25000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	0.20000	0.30000e-01
MUUTT.K.	GUMBEL-1	1.0000	0.40000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.20056	0.666128e-01
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.397282	-0.793579e-01
YLÄK.P.	-0.27267e-01	0.10327	0.372834e-01	-0.209244e-01
PUN.ET.	-0.22320e-01	0.13432	0.615482e-01	0.135010
BET.LUJ.	-39427.	0.16943e+06	62686.5	-0.422233e-01
J-VÄLI	19.674	20.326	20.0058	0.340906e-01
OMAP.	-1.2214	9.2214	4.52580	0.191924
PYS.K.	-0.19160	0.59160	0.202806	0.136565e-01
MUUTT.K.	-0.56631	27.391	8.54663	2.75460

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.373735e-11
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.391348e-11	0.307855e-12	7.9
2	0.405532e-11	0.337264e-12	8.3
3	0.345179e-11	0.216233e-12	6.3

KALIBROINTIPISTE 8, V4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.38000e-01	0.50000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.56000e-01	0.60000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	10.000	0.25000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	3.0000	0.45000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.6500	0.80000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19762	0.327443e-01
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.398920	-0.435932e-01
YLÄK.P.	-0.27267e-01	0.10327	0.376583e-01	-0.137958e-01
PUN.ET.	-0.22320e-01	0.13432	0.579617e-01	0.660051e-01
BET.LUJ.	-44427.6	0.16443e+05	9634.9	-0.921399e-02
J-VÄLI	9.6737	10.326	10.0028	0.223510e-01
OMAP.	-1.2214	9.2214	4.13105	0.661440e-01
PYS.K.	-2.8740	8.8740	3.15225	0.683067e-01
MUUTT.K.	0.24847e-36	597.74	14.1935	3.16545

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.365371e-06

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.322332e-06	0.378599e-07	11.7
2	0.303440e-06	0.259488e-07	8.6
3	0.310486e-06	0.208520e-07	6.7

KALIBROINTIPISTE 9, L06-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.20000	0.20000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.33000e-01	0.30000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.20000e-01	0.16000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	11.000	0.25000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.5000	0.25000
PYS.K.	NORMAALI	0.20000	0.20000e-02
MUUTT.K.	NORMAALI	1.1000	0.50000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19593	-0.100569e-02
KORKEUS	0.17389	0.22611	0.199886	-0.822165e-02
YLÄK.P.	-0.61602e-02	0.72160e-01	0.329488e-01	-0.247027e-02
PUN.ET.	-0.88544e-03	0.40885e-01	0.201081e-01	0.977360e-02
BET.LUJ.	-44427.	0.16443e+06	4720.05	-0.999284
J-VÄLI	10.674	11.326	11.0004	0.257101e-02
OMAP.	-0.76335	5.7634	2.52742	0.158637e-01
PYS.K.	0.17389	0.22611	0.200002	0.126277e-03
MUUTT.K.	-5.4267	7.6267	1.20980	0.317571e-01

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.235478e-11

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.234386e-11	0.208684e-12	8.9
2	0.237487e-11	0.213249e-12	9.0
3	0.228559e-11	0.204348e-12	8.9

KALIBROINTIPISTE 10, V5-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.30000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.37000e-01	0.45000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	10.000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.5000	0.18000
PYS.K.	NORMAALI	0.40000	0.40000e-01
MUUTT.K.	NORMAALI	2.2000	0.44000

LASKENNAN VÄLITULOSTEET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19593	-0.102456e-02
KORKEUS	0.22584	0.30416	0.264820	-0.849242e-02
YLÄK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.399320e-01	-0.300459e-02
PUN.ET.	-0.21740e-01	0.95740e-01	0.374512e-01	0.141796e-01
BET.LUJ.	-44427.	0.16443e+06	3445.38	-0.999696
J-VÄLI	9.8042	10.196	10.0001	0.140143e-02
OMAP.	1.1504	5.8496	3.50910	0.715156e-02
PYS.K.	-0.12214	0.92214	0.400446	0.157544e-02
MUUTT.K.	-3.5435	7.9435	2.25246	0.168605e-01

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.771636e-12
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.767085e-12	0.718073e-13	9.4
2	0.768231e-12	0.723567e-13	9.4
3	0.748755e-12	0.697838e-13	9.3

KALIBROINTIPISTE 11, P4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.38000e-01	0.50000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.56000e-01	0.60000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60000.	8000.0
J-VÄLI	NORMAALI	10.000	0.25000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	TASAN	4.0000	0.40000
MUUTT.K.	TASAN	4.0000	1.8000

LASKENNAN VÄLITULOKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19593	-0.973015e-03
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.399691	-0.868663e-02
YLÄK.P.	-0.27267e-01	0.10327	0.378943e-01	-0.297159e-02
PUN.ET.	-0.22320e-01	0.13432	0.565071e-01	0.118748e-01
BET.LUJ.	-44427.	0.16443e+06	3330.50	-0.995332
J-VÄLI	9.6737	10.326	10.0003	0.173537e-02
OMAP.	-1.2214	9.2214	4.01826	0.641584e-02
PYS.K.	3.3072	4.6928	4.03487	0.122482e-01
MUUTT.K.	0.88231	7.1177	5.55847	0.121656

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.555680e-12
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.680292e-12	0.644907e-13	9.5
2	0.478792e-12	0.544580e-13	11.4
3	0.454852e-12	0.531557e-13	11.7

KALIBROINTIPISTE 12, V8-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.20000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.15200	0.23000e-02
ALAK.P.	NORMAALI	0.20000e-01	0.16000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.20000e-01	0.16000e-02
UUMA	NORMAALI	0.29000e-01	0.20000e-02
F _{ct}	NORMAALI	3832.0	350.00
J-VÄLI	NORMAALI	5.0020	0.10000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.0000	0.10000
PYS.K.	NORMAALI	1.2500	0.15000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	5.5000	2.2000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	0.93493	1.4571	1.19723	0.106932e-01
KORKEUS	0.12198	0.18202	0.151591	-0.308087e-01
ALAK.P.	-0.88544e-03	0.40885e-01	0.200000e-01	-0.864463e-06
YLÄK.P.	-0.88544e-03	0.40885e-01	0.199920e-01	-0.866404e-03
UUMA	0.28932e-02	0.55107e-01	0.266895e-01	-0.200211
F _{ct}	-736.69	8400.7	3411.03	-0.208443
J-VÄLI	4.8715	5.1325	5.00231	0.540876e-02
OMAP.	0.69466	3.3053	2.00335	0.580508e-02
PYS.K.	-0.70801	3.2080	1.25754	0.870806e-02
MUUTT.K.	0.61066e-36	780.08	42.8312	2.94074

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.397028e-08
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.300138e-08	0.240854e-09	8.0
2	0.502769e-08	0.570388e-09	11.3
3	0.357458e-08	0.527954e-09	14.8

KALIBROINTIPISTE 13, V5-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.30000e-02
ALAK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
UUMA	NORMAALI	0.38000e-01	0.30000e-02
F _{ct}	NORMAALI	3831.0	575.00
J-VÄLI	NORMAALI	7.4920	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.5000	0.18000
PYS.K.	NORMAALI	1.6000	0.32000
MUUTT.K	NORMAALI	4.6200	1.3900

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19634	0.533187e-02
KORKEUS	0.22584	0.30416	0.265102	0.526955e-02
ALAK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.398496e-01	-0.729157e-02
YLÄK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.401931e-01	0.935962e-02
UUMA	-0.11602e-02	0.77160e-01	0.373839e-01	-0.318602e-01
F _{ct}	-3674.7	11337.	134.313	-0.997424
J-VÄLI	7.2962	7.6878	7.49209	0.908483e-03
OMAP.	1.1504	5.8496	3.50623	0.536611e-02
PYS.K.	-2.5771	5.7771	1.62906	0.140881e-01
MUUTT.K.	-13.524	22.764	5.16830	0.611979e-01

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.578376e-10

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.641898e-10	0.549832e-11	8.6
2	0.589274e-10	0.507116e-11	8.6
3	0.612762e-10	0.530812e-11	8.7

KALIBROINTIPISTE 14, L05-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.30000e-02
ALAK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
YLÄK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
UUMA	NORMAALI	0.38000e-01	0.30000e-02
F _{ct}	NORMAALI	3831.0	575.00
J-VÄLI	NORMAALI	7.7000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.5000	0.18000
MUUTT.K.	GAMMA	9.1000	5.0000
PYS.K.	NORMAALI	1.0000	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19731	0.257809e-01
KORKEUS	0.22584	0.30416	0.265546	0.358310e-01
ALAK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.388286e-01	-0.720034e-01
YLÄK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.409178e-01	0.564196e-01
UUMA	-0.11602e-02	0.77160e-01	0.341902e-01	-0.249799
Fct	-3674.7	11337.	2463.36	-0.467865
J-VÄLI	7.5042	7.8958	7.70048	0.631638e-02
OMAP.	1.1504	5.8496	3.48980	-0.111418e-01
MUUTT.K.	0.12650e-36	234.05	47.7396	1.52012
PYS.K.	0.34733	1.6527	1.00005	0.197832e-03

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.185341e-06

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.204543e-06	0.163176e-07	8.0
2	0.191078e-06	0.159091e-07	8.3
3	0.224837e-06	0.262637e-07	11.7

KALIBROINTIPISTE 15, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKJARVO	HAJONTA
P-ALA	NORMAALI	0.22820	0.11000e-01
JÄYH.M.	NORMAALI	0.48580e-02	0.24000e-03
ST.MOM.	NORMAALI	0.15500e-01	0.78000e-03
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
UUMA	NORMAALI	0.65000e-01	0.50000e-02
Fct	NORMAALI	2700.0	350.00
J-VÄLI	NORMAALI	9.0000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	5.0000	0.50000
MUUTT.K.	GUMBEL-1	8.0000	3.5000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
P-ALA	0.84613e-01	0.37179	0.219165	-0.132661
JÄYH.M.	0.17252e-02	0.79908e-02	0.450262e-02	-0.239161
ST.MOM.	0.53183e-02	0.25682e-01	0.155170e-01	0.352775e-02
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.395847	-0.134155
UUMA	-0.26701e-03	0.13027	0.521875e-01	-0.413876
Fct	-1868.7	7268.7	1714.21	-0.454907
J-VÄLI	8.7389	9.2611	8.98433	-0.126534
OMAP.	-1.2214	9.2214	3.73142	-0.108449
PYS.K.	-1.5267	11.527	4.68504	-0.101740
MUUTT.K	-5.7052	238.92	38.7398	1.41854

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.299285e-09

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.130254e-08	0.463739e-09	35.6
2	0.948590e-09	0.229236e-09	24.2
3	0.141380e-08	0.484433e-09	34.3

KALIBROINTIPISTE 16, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
P-ALA	NORMAALI	0.22820	0.11000e-01
JÄYH.M.	NORMAALI	0.48580e-02	0.24000e-03
ST.MOM.	NORMAALI	0.15100e-01	0.78000e-03
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
UUMA	NORMAALI	0.65000e-01	0.50000e-02
Fct	NORMAALI	2700.0	350.00
J-VÄLI	NORMAALI	8.0000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	2.0000	0.50000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	9.5000	3.5000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
P-ALA	0.84613e-01	0.37179	0.217885	-0.148132
JÄYH.M.	0.17252e-02	0.79908e-02	0.452225e-02	-0.220982
ST.MOM.	0.49183e-02	0.25282e-01	0.155840e-01	0.980207e-01
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.395184	-0.152165
UUMA	-0.26701e-03	0.13027	0.538745e-01	-0.351483
Fct	-1868.7	7268.7	1600.84	-0.496079
J-VÄLI	7.7389	8.2611	7.98318	-0.132853
OMAP.	-1.2214	9.2214	3.72523	-0.108510
PYS.K.	-4.5267	8.5267	1.67781	-0.101789
MUUTT.K.	0.99143e-36	938.81	43.1131	1.51704

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.122668e-09

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.464935e-09	0.196672e-09	42.3
2	0.215580e-09	0.602698e-10	28.0
3	0.328602e-09	0.975183e-10	29.7

KALIBROINTIPISTE 17, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

LIITE 3/12, LASKENTATULOKSET, NYKYINEN LUOTETTAVUUSTASO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
P-ALA	NORMAALI	0.22820	0.11000e-01
JÄYH.M.	NORMAALI	0.48580e-02	0.24000e-03
ST.MOM.	NORMAALI	0.15340e-01	0.78000e-03
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
UUMA	NORMAALI	0.65000e-01	0.50000e-02
Fct	NORMAALI	2700.0	350.00
J-VÄLI	NORMAALI	6.6370	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	5.0000	0.50000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	14.200	6.0000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
P-ALA	0.84613e-01	0.37179	0.223341	-0.855457e-01
JÄYH.M.	0.17252e-02	0.79908e-02	0.451447e-02	0.277181
ST.MOM.	0.51583e-02	0.25522e-01	0.160185e-01	0.168454
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.397782	-0.858849e-01
UUMA	-0.26701e-03	0.13027	0.567701e-01	-0.318737
Fct	-1868.7	7268.7	2065.71	-0.350935
J-VÄLI	6.3759	6.8981	6.62830	-0.841892e-01
OMAP.	-1.2214	9.2214	3.80242	-0.956525e-01
PYS.K.	-1.5267	11.527	4.74650	-0.981792e-01
MUUTT.K.	0.14080e-35	2596.0	68.8336	1.76327

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.121061e-06
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.117785e-06	0.190629e-07	16.2
2	0.143709e-06	0.357571e-07	24.9
3	0.126050e-06	0.210651e-07	16.7

KALIBROINTIPISTE 18, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
P-ALA	NORMAALI	0.22820	0.11000e-01
JÄYH.M.	NORMAALI	0.48580e-02	0.24000e-03
ST.MOM.	NORMAALI	0.15340e-01	0.78000e-03
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
UUMA	NORMAALI	0.65000e-01	0.50000e-02
Fct	NORMAALI	2700.0	350.00
J-VÄLI	NORMAALI	6.6370	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	5.0000	0.50000
MUUTT.K.1	GUMBEL-1	2.2000	0.90000
MUUTT.K.2	LOG-NORM.	14.000	4.8000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
P-ALA	0.84613e-01	0.37179	0.218940	-0.138819
JÄYH.M.	0.17252e-02	0.79908e-02	0.444252e-02	-0.285478
ST.MOM.	0.51583e-02	0.25522e-01	0.161498e-01	0.171210
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.395632	-0.144044
UUMA	-0.26701e-03	0.13027	0.538207e-01	-0.368705
Fct	-1868.7	7268.7	1726.73	-0.458560
J-VÄLI	6.3759	6.8981	6.62258	-0.118855
OMAP.	-1.2214	9.2214	3.75267	-0.101964
PYS.K.	-1.5267	11.527	4.71536	-0.938775e-01
MUUTT.K.1	-1.3242	61.579	2.70017	0.916455e-01
MUUTT.K.2	0.14243e-35	1027.8	51.8750	1.30120

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.665919e-09
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.603735e-08	0.133769e-08	22.2
2	0.623666e-08	0.256436e-08	41.1
3	0.554440e-08	0.144886e-08	26.1

KALIBROINTIPISTE 19, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
P-ALA	NORMAALI	0.22820	0.11000e-01
JÄYH.M.	NORMAALI	0.48580e-02	0.24000e-03
ST.MOM.	NORMAALI	0.15500e-01	0.78000e-03
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
UUMA	NORMAALI	0.65000e-01	0.50000e-02
Fct	NORMAALI	2700.0	350.00
J-VÄLI	NORMAALI	8.5000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.40000
PYS.K.	NORMAALI	2.0000	0.30000
MUUTT.K.	EXP.	11.200	4.0000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
P-ALA	0.84613e-01	0.37179	0.222336	-0.920978e-01
JÄYH.M.	0.17252e-02	0.79908e-02	0.447219e-02	-0.277710
ST.MOM.	0.53183e-02	0.25682e-01	0.169151e-01	0.313423
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.397314	-0.927975e-01
UUMA	-0.26701e-03	0.13027	0.559219e-01	-0.313657
Fct	-1868.7	7268.7	1733.66	-0.476975
J-VÄLI	8.2389	8.7611	8.48966	-0.892992e-01
OMAP.	-1.2214	9.2214	3.76841	-0.100023
PYS.K.	-1.9160	5.9160	1.82975	-0.980414e-01
MUUTT.K.	7.2000	347.98	46.9792	1.54526

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.356101e-08

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.518582e-07	0.183517e-07	35.4
2	0.207214e-07	0.508269e-08	24.5
3	0.368854e-07	0.897747e-08	24.3

KALIBROINTIPISTE 20, P08-LAATTA, HALKEAMISMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.20000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.15200	0.23000e-02
ALAK.P.	NORMAALI	0.20000e-01	0.16000e-02
YLAK.P.	NORMAALI	0.20000e-01	0.16000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.32000e-01	0.20000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	7.0000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.0000	0.15000
PYS.K.	NORMAALI	1.2000	0.10000
MUUTT.K.	NORMAALI	1.0500	0.42000
δ	NORMAALI	1.5000	0.50000e-01
INS.TEK.	NORMAALI	1.0500	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	0.93493	1.4571	1.20946	0.128897
KORKEUS	0.12198	0.18202	0.148378	-0.301593
ALAK.P.	-0.88544e-03	0.40885e-01	0.203495e-01	0.418305e-01
YLAK.P.	-0.88544e-03	0.40885e-01	0.203495e-01	0.418305e-01
PUN.ET.	0.58932e-02	0.58107e-01	0.336651e-01	0.159440
BET.LUJ.	-44.427	164.43	37.4364	-0.540138
J-VÄLI	6.8042	7.1958	7.00328	0.419337e-01
OMAP.	0.41990e-01	3.9580	2.19119	0.244098
PYS.K.	-0.10534	2.5053	1.28497	0.162732
MUUTT.K.	-4.4324	6.5324	2.54894	0.683475
δ	0.84733	2.1527	1.46616	-0.129597
INS.TEK.	0.39733	1.7027	1.04998	-0.754926e-04

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.888083e-07

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.955246e-07	0.759999e-08	8.0
2	0.103645e-06	0.764641e-08	7.4
3	0.103427e-06	0.780889e-08	7.6

KALIBROINTIPISTE 21, V6-LAATTA, HALKEAMISMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.20000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.20000	0.30000e-02
ALAK.P.	NORMAALI	0.25000e-01	0.20000e-02
YLAK.P.	NORMAALI	0.20000e-01	0.16000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.33200e-01	0.50000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	5.7000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.4000	0.24000
PYS.K.	NORMAALI	2.2000	0.30000
MUUTT.K.	GUMBEL-1	1.0500	0.42000
δ	NORMAALI	1.3900	0.50000e-01
INS.TEK.	NORMAALI	1.0500	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	0.93493	1.4571	1.20222	0.532980e-01
KORKEUS	0.16084	0.23916	0.197210	-0.159421
ALAK.P.	-0.11068e-02	0.51107e-01	0.251351e-01	0.115815e-01
YLAK.P.	-0.88544e-03	0.40885e-01	0.200865e-01	0.926505e-02
PUN.ET.	-0.32067e-01	0.98467e-01	0.363316e-01	0.107370
BET.LUJ.	-44.427	164.43	41.6622	-0.392958
J-VÄLI	5.5042	5.8958	5.70255	0.290919e-01
OMAP.	-0.73282	5.5328	2.56957	0.121123
PYS.K.	-1.7160	6.1160	2.46495	0.151404
MUUTT.K.	-0.59462	28.760	5.90757	1.98271
δ	0.73733	2.0427	1.35696	-0.113266
INS.TEK.	0.39733	1.7027	1.05000	0.159953e-04

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.272635e-08
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.236862e-08	0.238020e-09	10.0
2	0.277148e-08	0.315405e-09	11.4
3	0.237000e-08	0.212651e-09	9.0

KALIBROINTIPISTE 22, L05-LAATTA, HALKEAMISMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.20000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.30000e-02
ALAK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
YLAK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.37000e-01	0.45000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	6.7500	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.5000	0.18000
PYS.K.	NORMAALI	0.20000	0.20000e-01
MUUTT.K.	GAMMA	4.1000	1.6600
δ	NORMAALI	1.3200	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	0.93493	1.4571	1.20120	0.571112e-01
KORKEUS	0.22584	0.30416	0.263577	-0.104091
ALAK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.402684e-01	0.184098e-01
YLAK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.402685e-01	0.184185e-01
PUN.ET.	-0.21740e-01	0.95740e-01	0.385886e-01	0.774878e-01
BET.LUJ.	-44.427	164.43	51.5454	-0.231972
J-VÄLI	6.5542	6.9458	6.75151	0.221087e-01
OMAP.	1.1504	5.8496	3.53796	0.462930e-01
PYS.K.	-0.61068e-01	0.46107	0.200451	0.494524e-02
MUUTT.K.	0.12650e-36	57.260	15.5967	1.52019
δ	0.66733	1.9727	1.30038	-0.861439e-01

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.261129e-05

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.954611e-06	0.159538e-06	16.7
2	0.998717e-06	0.158043e-06	15.8
3	0.896771e-06	0.126517e-06	14.1

KALIBROINTIPISTE 23, L05-LAATTA, HALKEAMISMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.20000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.30000e-02
ALAK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
YLAK.P.	NORMAALI	0.40000e-01	0.32000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.37000e-01	0.45000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	6.7500	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.5000	0.18000
PYS.K.	NORMAALI	0.20000	0.20000e-01
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	4.7000	1.5000
δ	NORMAALI	1.3200	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	0.93493	1.4571	1.19968	0.438181e-01
KORKEUS	0.22584	0.30416	0.263981	-0.808377e-01
ALAK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.401870e-01	0.139034e-01
YLAK.P.	-0.17709e-02	0.81771e-01	0.401866e-01	0.138769e-01
PUN.ET.	-0.21740e-01	0.95740e-01	0.381158e-01	0.590076e-01
BET.LUJ.	-44.427	164.43	54.1389	-0.174345
J-VÄLI	6.5542	6.9458	6.75106	0.168420e-01
OMAP.	1.1504	5.8496	3.52653	0.350724e-01
PYS.K.	-0.61068e-01	0.46107	0.200336	0.399467e-02
MUUTT.K.	0.54775e-36	260.98	16.0461	1.80002
δ	0.66733	1.9727	1.30580	-0.675875e-01

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.132240e-04

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.137767e-04	0.724401e-06	5.3
2	0.127152e-04	0.586106e-06	4.6
3	0.137961e-04	0.741133e-06	5.4

KALIBROINTIPISTE 24, V3-LAATTA, HALKEAMISMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.20000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
P.ALA	NORMAALI	0.22820	0.11400e-01
JÄYH.M.	NORMAALI	0.48580e-02	0.24000e-03
PUN.ET.	NORMAALI	0.36000e-01	0.50000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	11.000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.30000
PYS.K.	NORMAALI	2.1000	0.40000
MUUTT.K.	GUMBEL-1	2.2000	0.90000
δ	NORMAALI	1.2400	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	0.93493	1.4571	1.20289	0.822456e-01
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.400161	0.770198e-02
P.ALA	0.79391e-01	0.37701	0.231112	0.609870e-01
JÄYH.M..	0.17252e-02	0.79908e-02	0.470135e-02	-0.155809
PUN.ET.	-0.29267e-01	0.10127	0.372749e-01	0.608668e-01
BET.LUJ.	-44.427	164.43	53.9830	-0.179545
J-VÄLI	10.739	11.261	11.0015	0.179798e-01
OMAP.	0.83979e-01	7.9160	4.12135	0.965603e-01
PYS.K.	-3.1214	7.3214	2.31573	0.128748
MUUTT.K.	-1.3242	61.579	8.97207	1.79624
δ	0.58733	1.8927	1.22446	-0.741857e-01

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.140151e-04

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.145684e-04	0.954250e-06	6.6
2	0.178263e-04	0.210136e-05	11.8
3	0.135375e-04	0.804628e-06	5.9

KALIBROINTIPISTE 25, V3-LAATTA, HALKEAMISMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIAVARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.20000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.40000	0.50000e-02
P.ALA	NORMAALI	0.22820	0.11400e-01
JÄYH.M.	NORMAALI	0.48580e-02	0.24000e-03
PUN.ET.	NORMAALI	0.36000e-01	0.50000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	7.0000
J-VÄLI	NORMAALI	14.000	0.20000e-01
OMAP.	NORMAALI	4.0000	0.30000
PYS.K.	NORMAALI	0.50000	0.50000e-01
MUUTT.K.	GAMMA	1.0500	0.45000
6	NORMAALI	1.2400	0.50000e-01

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	0.93493	1.4571	1.20858	0.126732
KORKEUS	0.33473	0.46527	0.400223	0.900010e-02
ALAK.P.	0.79391e-01	0.37701	0.233469	0.931002e-01
YLAK.P.	0.17252e-02	0.79908e-02	0.456897e-02	-0.242593
PUN.ET.	-0.29267e-01	0.10127	0.384167e-01	0.973618e-01
BET.LUJ.	-31.374	151.37	51.4644	-0.245627
J-VÄLI	13.739	14.261	14.0022	0.218838e-01
OMAP.	0.83979e-01	7.9160	4.37463	0.251552
PYS.K.	-0.15267	1.1527	0.510406	0.419245e-01
MUUTT.K.	0.14000e-36	16.431	4.23035	1.42365
6	0.58733	1.8927	1.21226	-0.111767

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.345263e-06
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.247371e-06	0.695224e-07	28.1
2	0.192981e-06	0.366677e-07	19.0
3	0.369688e-06	0.802199e-07	21.7

KALIBROINTIPISTE 26, V5-LAATTA, ANKKUROINTIMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIAVARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.26500	0.50000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.36000e-01	0.50000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	9.1000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	3.0000	0.20000
PYS.K.	NORMAALI	2.0000	0.20000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.0900	0.60000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT:

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19717	0.205262e-01
KORKEUS	0.19973	0.33027	0.263950	-0.369977e-01
ALAK.P.	-0.29267e-01	0.10127	0.370501e-01	0.369959e-01
YLAK.P.	-44.427	164.43	59.7260	-0.603366e-02
J-VÄLI	8.9042	9.2958	9.10038	0.444699e-02
OMAP.	0.38932	5.6107	3.02506	0.220706e-01
PYS.K.	-0.61068	4.6107	2.02494	0.219674e-01
MUUTT.K.	0.19549e-36	787.88	17.6048	4.84873

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.688599e-08

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.504398e-08	0.599196e-09	11.9
2	0.525026e-08	0.619093e-09	11.8
3	0.481324e-08	0.439361e-09	9.1

KALIBROINTIPISTE 27, L06-LAATTA, ANKKUROINTIMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKiarvo	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.20000	0.20000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.33200e-01	0.23000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	7.5000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.5000	0.12500
PYS.K.	NORMAALI	1.0000	0.10000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	3.0400	1.5000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19700	0.193618e-01
KORKEUS	0.17389	0.22611	0.199758	-0.235334e-01
PUN.ET.	0.31772e-02	0.63223e-01	0.335189e-01	0.269385e-01
BET.LUJ.	-44.427	164.43	59.5505	-0.109159e-01
J-VÄLI	7.3042	7.6958	7.50041	0.532197e-02
OMAP.	0.86832	4.1317	2.50573	0.890480e-02
PYS.K.	-0.30534	2.3053	1.00367	0.712365e-02
MUUTT.K.	0.37262e-36	1207.4	30.0638	3.50009

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.132397e-06

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.117572e-06	0.104444e-07	8.9
2	0.115880e-06	0.925909e-08	8.0
3	0.120000e-06	0.117727e-07	9.8

KALIBROINTIPISTE 28, P08-LAATTA, ANKKUROINTIMURTO

SYÖTTEET:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
LEVEYS	NORMAALI	1.1960	0.10000e-01
KORKEUS	NORMAALI	0.15600	0.25000e-02
PUN.ET.	NORMAALI	0.32000e-01	0.27000e-02
BET.LUJ.	NORMAALI	60.000	8.0000
J-VÄLI	NORMAALI	6.5000	0.15000e-01
OMAP.	NORMAALI	2.0000	0.15000
PYS.K.	NORMAALI	2.0000	0.20000e-01
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.1000	0.50000

LASKENNAN VÄLITULOSTUKSET:

SIMULOINTIRAJAT

MUUTTUJA	ALARAJA	YLÄRAJA	SUUNN. PISTEEN KOORD.	HERKKYYSKERROIN
LEVEYS	1.0655	1.3265	1.19748	0.237252e-01
KORKEUS	0.12337	0.18863	0.155159	-0.540814e-01
PUN.ET.	-0.32442e-02	0.67244e-01	0.329814e-01	0.584060e-01
BET.LUJ.	-44.427	164.43	59.2323	-0.154202e-01
J-VÄLI	6.3042	6.6958	6.50065	0.700429e-02
OMAP.	0.41990e-01	3.9580	2.02156	0.230950e-01
PYS.K.	1.7389	2.2611	2.00038	0.307863e-02
MUUTT.K.	0.20014e-36	286.70	14.7037	4.37169

TULOKSET

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.244058e-09
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	Pf	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.203026e-09	0.161243e-10	7.9
2	0.206090e-09	0.229776e-10	11.1
3	0.195567e-09	0.134469e-10	6.9

Liitteessä on annettu kalibrointipisteiden syöttötietojen tulosten osalta muuttuneet arvot.

KALIBROINTIPISTE 1, V8-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

SYÖTTEIDEN MUUTTUNEET ARVOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.lujuus	NORMAALI	50000.	7000.0

TULOKSET:
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.854694e-07
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.892105e-07	0.579000e-08	6.5
2	0.842074e-07	0.395192e-08	4.7
3	0.811319e-07	0.402651e-08	5.0

KALIBROINTIPISTE 2, V5-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTTUNEET SYÖTTEIDEN ARVOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.385946e-09
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.386803e-09	0.231246e-10	6.0
2	0.398426e-09	0.254318e-10	6.4
3	0.430703e-09	0.330386e-10	7.7

KALIBROINTIPISTE 3, P05-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTTUNEET SYÖTTEIDEN ARVOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.164912e-10
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.158393e-10	0.173546e-11	11.0
2	0.169705e-10	0.158154e-11	9.3
3	0.173677e-10	0.137327e-11	7.9

KALIBROINTIPISTE 4, P8-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTTUNEET SYÖTTEIDEN ARVOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	LOG-NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.319970e-05
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.335282e-05	0.203958e-06	6.1
2	0.315246e-05	0.191926e-06	6.1
3	0.320790e-05	0.205526e-06	6.4

KALIBROINTIPISTE 5, P8-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTTUNEET SYÖTTEIDEN ARVOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	7000.0

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.271887e-05
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.351531e-05	0.227409e-06	8.4
2	0.342002e-05	0.203398e-06	7.5
3	0.352508e-05	0.148942e-06	5.7

KALIBROINTIPISTE 6, V4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTTUNEET SYÖTTEIDEN ARVOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.150185e-06
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.158243e-06	0.111447e-07	7.0
2	0.145704e-06	0.884162e-08	6.1
3	0.155964e-06	0.144630e-07	9.3

KALIBROINTIPISTE 7, V4-LAATTA,TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	55000.	8000.0

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.583607e-11
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.780945e-11	0.113979e-11	14.6
2	0.603901e-11	0.444725e-12	7.4
3	0.666486e-11	0.709382e-12	10.6

KALIBROINTIPISTE 8, V4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.392346e-06			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.370694e-06	0.289222e-07	7.8
2	0.326074e-06	0.367715e-07	11.3
3	0.345685e-06	0.332047e-07	9.6

KALIBROINTIPISTE 9, L06-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.733639e-08			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.692141e-08	0.562286e-09	8.1
2	0.718618e-08	0.593161e-09	8.3
3	0.753699e-08	0.616341e-09	8.2

KALIBROINTIPISTE 10, V5-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.743592e-08			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.711298e-08	0.584070e-09	8.2
2	0.731628e-08	0.600575e-09	8.2
3	0.723721e-08	0.593417e-09	8.2

KALIBROINTIPISTE 11, P4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTTUNEET SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50000.	8000.0

TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.131923e-08			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.135312e-08	0.161650e-09	11.9
2	0.114634e-08	0.137103e-09	12.0
3	0.127953e-08	0.153927e-09	12.0

KALIBROINTIPISTE 12, V8-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

		MUUTTUNEET SYÖTTÖTIEDOT:	
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	3393.0	350.00
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.199122e-07			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.252665e-07	0.665600e-08	26.3
2	0.170996e-07	0.148419e-08	8.7
3	0.178366e-07	0.205119e-08	11.5

KALIBROINTIPISTE 13, V5-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

		MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT	
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	3393.0	575.00
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.652771e-08			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.653783e-08	0.516777e-09	7.9
2	0.674499e-08	0.538209e-09	8.0
3	0.686240e-08	0.545409e-09	7.9

KALIBROINTIPISTE 13, L05-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

		MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT	
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	3393.0	575.00
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.652771e-08			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.653783e-08	0.516777e-09	7.9
2	0.674499e-08	0.538209e-09	8.0
3	0.686240e-08	0.545409e-09	7.9

KALIBOINTIPISTE 15, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

		MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT	
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	2375.0	350.00

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.727404e-08
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.220494e-07	0.407441e-08	18.5
2	0.286677e-07	0.623908e-08	21.8
3	0.166636e-07	0.244774e-08	14.7

KALIBROINTIPISTE 16, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKJARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	2375.0	350.00

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.144722e-08
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.926800e-08	0.633531e-08	68.4
2	0.318963e-08	0.103783e-08	32.5
3	0.242757e-08	0.597464e-09	24.6

KALIBROINTIPISTE 17, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKJARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	2375.0	350.00

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.154721e-06
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.115840e-05	0.439349e-06	37.9
2	0.393403e-06	0.989483e-07	25.2
3	0.164894e-05	0.110586e-05	67.1

KALIBROINTIPISTE 18, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKJARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	2375.0	350.00

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.499281e-07
 VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.167002e-06	0.485930e-07	29.1
2	0.145692e-06	0.440470e-07	30.2
3	0.116307e-06	0.219359e-07	18.9

KALIBROINTIPISTE 19, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
F _{ct}	NORMAALI	2375.0	350.00
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.437331e-07			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.305839e-06	0.765858e-07	25.0
2	0.239014e-06	0.467285e-07	19.6
3	0.469283e-06	0.232515e-06	49.5

KALIBROINTIPISTE 20, P08-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.307973e-05			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.324703e-05	0.238267e-06	7.3
2	0.284991e-05	0.215176e-06	7.6
3	0.366287e-05	0.272874e-06	7.4

KALIBROINTIPISTE 21, V6-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.612727e-07			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.558334e-07	0.690599e-08	12.4
2	0.543920e-07	0.441741e-08	8.1
3	0.722764e-07	0.120959e-07	16.7

KALIBROINTIPISTE 22, L05-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.104958e-04			
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.100752e-04	0.566978e-06	5.6
2	0.108887e-04	0.643108e-06	5.9
3	0.112270e-04	0.766230e-06	6.8

KALIBROINTIPISTE 23, L05-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ			0.362260e-04
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.373736e-04	0.184083e-05	4.9
2	0.383239e-04	0.188513e-05	4.9
3	0.357231e-04	0.164496e-05	4.6

KALIBROINTIPISTE 24, V3-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ			0.390649e-04
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.442259e-04	0.285034e-05	6.4
2	0.412765e-04	0.235968e-05	5.7
3	0.364741e-04	0.194183e-05	5.3

KALIBROINTIPISTE 25, V3-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	7.0000
TULOKSET:			
FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ			0.215687e-05
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.178921e-05	0.123641e-06	6.9
2	0.233582e-05	0.543383e-06	23.3
3	0.186743e-05	0.123038e-06	6.6

KALIBROINTIPISTE 26, V5-LAATTA, ANKKUROINTIMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.725974e-08
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.541911e-08	0.559903e-09	10.3
2	0.562963e-08	0.519755e-09	9.2
3	0.532708e-08	0.452953e-09	8.5

KALIBROINTIPISTE 27, L06-LAATTA, ANKKUROINTIMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.144528e-06
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.130166e-06	0.114763e-07	8.8
2	0.128752e-06	0.106933e-07	8.3
3	0.131246e-06	0.113407e-07	8.6

KALIBROINTIPISTE 28, P08-LAATTA, ANKKUROINTIMURTO

MUUTTUNEET SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIARVO	HAJONTA
bet.luj.	NORMAALI	50.000	8.0000

TULOKSET:

FOSM-ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.198675e-08
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYS JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST.VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.179461e-08	0.165122e-09	9.2
2	0.171799e-08	0.114967e-09	6.7
3	0.173093e-08	0.121284e-09	7.0

KALIBROINTIPISTE 1, V8-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIJARVO	HAJONTA
PYS.K.	NORMAALI	1.1700	0.18000
MUUTT.K.	GUMBEL-1	1.3500	0.54000

TULOKSET:			
FOSM ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ		0.173435e-05	
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.184436e-05	0.935509e-07	5.1
2	0.170292e-05	0.799998e-07	4.7
3	0.162490e-05	0.755425e-07	4.6

KALIBROINTIPISTE 6, V4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIJARVO	HAJONTA
PYS.K.	NORMAALI	3.2000	0.45000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.8500	0.74000

TULOKSET:			
FOSM ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ		0.403801e-05	
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.397978e-05	0.298473e-06	7.5
2	0.415369e-05	0.328030e-06	7.9
3	0.411250e-05	0.232724e-06	5.7

KALIBROINTIPISTE 8, V4-LAATTA, TAIVUTUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIJARVO	HAJONTA
PYS.K.	NORMAALI	3.2000	0.48000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	1.8500	0.90000

TULOKSET:			
FOSM ARVIO.VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ		0.157019e-05	
VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO			
AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.146535e-05	0.937591e-07	6.4
2	0.137289e-05	0.884482e-07	6.4
3	0.135334e-05	0.878385e-07	6.5

KALIBROINTIPISTE 15, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:			
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIJARVO	HAJONTA
PYS.K.	NORMAALI	6.0000	0.60000
MUUTT.K.	GUMBEL-1	9.6000	3.8400

TULOKSET:

FOSM ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.712883e-09

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.157404e-07	0.292139e-08	18.6
2	0.974434e-08	0.217500e-08	22.3
3	0.275441e-07	0.144979e-07	52.6

KALIBROINTIPISTE 17, V3-LAATTA, UUMAN LEIKKAUSVETOMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKiarvo	Hajonta
PYS.K.	NORMAALI	6.0000	0.60000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	17.000	6.8000

TULOKSET:

FOSM ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.201258e-06

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.610895e-06	0.129081e-06	21.1
2	0.652823e-06	0.121272e-06	18.6
3	0.184888e-05	0.112290e-05	60.7

KALIBROINTIPISTE 20, P08-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKiarvo	Hajonta
PYS.K.	NORMAALI	1.2600	0.12600
MUUTT.K.	NORMAALI	1.1000	0.44000

TULOKSET:

FOSM ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.492366e-06

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.514700e-06	0.373388e-07	7.3
2	0.537195e-06	0.389997e-07	7.3
3	0.474707e-06	0.361688e-07	7.6

KALIBROINTIPISTE 25, V5-LAATTA, HALKEAMISMURTO

MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:

MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKiarvo	Hajonta
PYS.K.	NORMAALI	0.55000	0.60000e-01
MUUTT.K.	GAMMA	1.1000	0.50000

TULOKSET:

FOSM ARVIO VAURIOITUMISTOD.NÄKÖISYYDESTÄ 0.267751e-05

VAURIOITUMISTODENNÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.240874e-05	0.225507e-06	9.4
2	0.214791e-05	0.146642e-06	6.8
3	0.236534e-05	0.175572e-06	7.4

KALIBROINTIPISTE 27, L06-LAATTA, ANKKUROINTIMURTO

		MUUTETUT SYÖTTÖTIEDOT:	
MUUTTUJA	JAKAUMA	KESKIVARVO	HAJONTA
PYS.K.	NORMAALI	1.1000	0.11000
MUUTT.K.	LOG-NORMAALI	3.3400	1.6700

TULOKSET:
FOSM ARVIO VAURIOITUMISTODENÄKÖISYYDESTÄ 0.178945e-05
VAURIOITUMISTODENÄKÖISYYDET JA VIRHEARVIO

AJO	PF	TILAST. VIRHE	VIRHEPROS.
1	0.164401e-05	0.116728e-06	7.1
2	0.164241e-05	0.111096e-06	6.8
3	0.163907e-05	0.100056e-06	6.1

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
RAKENNE- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN
LAITOSTEN KIRJASTO